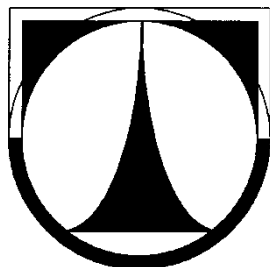


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra částí a mechanismů strojů



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Liberec 2013

Bc. Václav Rada

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T010 – Inovační inženýrství

**Inovace bezpečnostních vyztužení předních  
bočních dveří vozu SK 351.**

**Innovation of safety reinforcing for front side  
door of the car SK 351.**

Autor:	Bc. Václav Rada
Vedoucí práce:	prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
Konzultant:	Ing. Jaroslav Ladman

V Liberci 28. 1. 2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	<b>Bc. Václav R A D A</b>
Studijní program:	<b>N2301 – Strojní inženýrství</b>
Obor	<b>3909T010 - Inovační inženýrství</b>
Zaměření	<b>Inovace výrobků</b>

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

### **Inovace bezpečnostních vyztužení předních bočních dveří vozu SK 351.**

#### **Zásady pro vypracování:**

1. Navrhněte konstrukci předních dveří vozu SK 351 z hlediska optimální hmotnosti při splnění pevnostních a funkčních požadavků, zejména z hlediska bezpečnosti posádky.
2. Analýza konkurenčních vozů. Zhodnocení současné situace na trhu.
3. Vypracujte 4 návrhy inovovaných řešení s ohledem na snížení hmotnosti dveří při zachování ostatních parametrů.
4. Vyberte optimální řešení pomocí metod DFX, ....
5. Proveďte kontrolní výpočty statické tuhosti vybrané varianty.
6. Zpracujte vybrané řešení předních bočních dveří vozu SK 351 včetně detailní konstrukce a FMEA.
7. Celkové zhodnocení.

Forma zpracování diplomové práce:


- průvodní zpráva: cca 50 stran textu včetně obrázků
- grafické práce: množství nezbytné pro snadné pochopení látky čtenářem  
výkresová dokumentace

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):


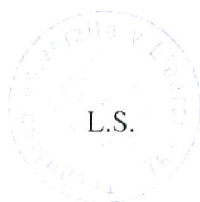
1. Ivan Mašín, Milan Vytlačil, Nové cesty k vyšší produktivitě. Metody průmyslového inženýrství, Institut průmyslového inženýrství, Liberec, 2000
2. Ševčík L.: Počítačem podporované konstruování. Část třetí. CAD technologie v inovačním inženýrství, Technická univerzita v Liberci, 2006
3. Skrbek B.: Materiály pro konstrukční aplikace, Technická univerzita v Liberci, 2009
4. Ing. Jindřich H. Frank, Analýza možných způsobů a důsledků závad (FMEA), Česká společnost pro jakost, ISBN 80-02-01476-6
5. Milton Rosenau: Řízení projektů, Computer Press, a.s., Brno, 2007

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.**

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jaroslav Ladman**



prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
vedoucí katedry



Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 28.1.2013

---

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci 24. května 2013

Podpis: .....

Václav Rada

## **Poděkování**

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSs., Ing. Jaroslavu Ladmanovi, Michalovi Voňkovi a Ing. Jiřímu Lábusovi za jejich odborné vedení a pomoc při zpracování diplomové práce, za poskytnutí všech dostupných podkladů a za ochotu, připomínky a nápady, které byly cenné při tvorbě této diplomové práce.

**Děkuji.**

## **Anotace**

Diplomová práce s názvem Inovace bezpečnostních vyztužení předních bočních dveří vozu SK 351, popisuje na základě analýzy konkurenčních vozů čtyři nové návrhy optimalizované sestavy předních bočních dveří se zaměřením na snížení hmotnosti boční protinárazové výztuhy. Po výběru optimálního řešení vícekritériálním rozhodováním pomocí metod DFX, se provede simulace statické tuhosti zvoleného řešení protinárazové výztuhy včetně tvarové optimalizace a detailního návrhu konstrukce, spočívající v určení polohy výztuhy, připevnění, montáže, kontroly a testování a FMEA analýzy. V závěru práce se vyhodnotí dosažená hmotnostní úspora inovované protinárazové výztuhy i celé inovované sestavy předních bočních dveří.

## **Klíčová slova**

Inovace, přední boční dveře, protinárazová výztuha, optimalizace hmotnosti, návrh konstrukce, analýza a vyhodnocení.

## **Annotation**

The thesis with the title Innovation of security reinforcing for front side door of the car SK 351 describes, on the basis of an analysis of competitive cars, four new designs of optimized sets of front doors with the focus on reduction of weight of the side impact door beam. After the optimum design is selected by means of multi-criteria deciding using the DFX methods, a simulation is carried out of static stiffness of the selected design of the side impact door beam, including optimizing of the shape and a detailed design of construction, consisting in determining of the position of door beam, its attachment, assembly, inspection, testing and an FMEA analysis. The conclusion of the thesis assesses the achieved reduction of weight of the innovated side impact door beam as well as of the entire innovated set of front doors.

## **Keywords**

Innovation, front side door, side impact door beam, weight optimization, construction design, analysis and assessment.



# Obsah

<b>1</b>	<b>Cíl diplomové práce .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Teoretická část .....</b>	<b>12</b>
2.1	Škoda Octavia – automobil s tradicí .....	12
2.2	Bezpečnostní a funkční požadavky na přední boční dveře .....	13
2.3	Statické zkoušky předních bočních dveří .....	13
2.3.1	Prověšení bočních dveří .....	13
2.3.2	Zatížení okenní šachty vnější a vnitřní .....	14
2.3.3	Zatížení okenního rámu ve středu a v oblasti B-sloupku .....	14
2.4	Přední boční dveře vozu Škoda Octavia II. generace .....	15
2.5	Popis dílů předních bočních dveří vozu Škoda Octavia II. generace ..	16
<b>3</b>	<b>Analýza konkurenčních vozů .....</b>	<b>20</b>
3.1	Mazda 3 .....	21
3.2	Toyota Auris .....	23
3.3	BMW 120 .....	25
3.4	Peugeot 308 .....	27
3.5	Zhodnocení současné situace na trhu .....	29
<b>4</b>	<b>Návrhy konstrukce inovovaných řešení s ohledem na hmotnost dveří .....</b>	<b>30</b>
4.1	Návrh 1 - boční protinárazová výztuha z pravoúhlého ocelového profilu .. .....	33
4.2	Návrh 2 - boční protinárazová výztuha z dutého hliníkového profilu ..	35
4.3	Návrh 3 - boční protinárazová výztuha z otevřeného hliníkového profilu a hliníkové pěny .....	38
4.4	Návrh 4 - boční protinárazová výztuha z trubkového ocelového profilu ... .....	40
4.5	Celkové shrnutí návrhů .....	42
<b>5</b>	<b>Výběr optimálního řešení .....</b>	<b>43</b>
5.1	Shrnutí výběru optimálního řešení .....	47
<b>6</b>	<b>Kontrolní výpočty statické tuhosti vybraného návrhu .....</b>	<b>48</b>
6.1	Výpočet ohybové tuhosti protinárazové výztuhy .....	48

6.2	Analýza zástavbových možností protinárazové výztuhy .....	49
6.3	Výpočet ohybové tuhosti optimalizované protinárazové výztuhy .....	51
6.4	Kontrolní výpočty statických tuhostí předních bočních dveří .....	52
<b>7</b>	<b>Konstrukční zpracování návrhu s protinárazovou výztuhou z dutého hliníkového profilu .....</b>	<b>53</b>
7.1	Určení polohy protinárazové výztuhy .....	53
7.2	Volba připevnění protinárazové výztuhy s ohledem na montáž – DFA ... .....	55
7.3	Návrh montáže protinárazové výztuhy .....	57
7.4	Návrh protinárazové výztuhy z hlediska testování a kontroly – DFT/I ... .....	59
7.5	FMEA .....	60
7.6	Výsledná sestava bočních dveří .....	61
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>62</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>64</b>
	<b>Seznam vzorců .....</b>	<b>65</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>65</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>66</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>67</b>
	<b>Přílohy .....</b>	<b>68</b>

## Seznam symbolů a zkratk

$m$	-	hmotnost	[kg; g]
$t$	-	tloušťka plechu	[mm]
$V$	-	objem součásti	[m <sup>3</sup> ]
$F$	-	síla	[N]
$\rho$	-	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
$E$	-	Youngův modul pružnosti	[GPa]
$R_m$	-	mez pevnosti	[MPa]
$R_e$	-	mez kluzu	[MPa]
$A_{80}$	-	tažnost	[%]

# 1 Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je navrhnout inovované konstrukční řešení předních bočních dveří vozu Škoda Octavia II. generace s označením SK 351 především z hlediska optimalizace hmotnosti při splnění stávajících pevnostních a funkčních požadavků, které jsou na současný sériový stav bočních dveří kladeny. Požadovaná minimální hmotnostní úspora na celé sestavě bočních dveří je 3%.

V prvé řadě je úkolem seznámení se s vozem Škoda Octavia a jeho generačními stavy a následné popsání bezpečnostních a funkčních požadavků, které jsou v dnešní době kladeny na vozidla a jejich boční dveře. Popsání předních bočních dveří používaných v současnosti na voze Škoda Octavia II. generace z pohledu použitých dílů, jejich počtu, funkce, postupu montáže, výroby, materiálu a jejich hmotnosti.

Další část se zaměří na analýzu konkurenčních vozů a jejich výběr pro následný rozbor předních bočních dveří. Důležité parametry pro výběr by měly být bezpečnost vozidla, typ karoserie, rozměry předních dveří a také zajímavé konstrukční řešení předních bočních dveří. U každého z vybraných vozů se přední boční dveře podrobí důkladné analýze obdobným způsobem jako v případě Škody Octavie II. generace. Potom se výsledky analýzy vyhodnotí a porovnájí se současným stavem konstrukce dveří. Vybere se díl (popř. díly) s nejvyšším potenciálem úspory hmotnosti a tímto dílem se bude zabývat praktická část diplomové práce.

Po zvolení dílu, který bude považován za nejvhodnější pro následnou inovaci vzhledem k hmotnostní optimalizaci, se navrhnou čtyři varianty nové inovované konstrukce tohoto dílu. U jednotlivých návrhů by měly být představeny a zohledněny použité materiály, technologie výroby dílu ze zvolených materiálů, změna konstrukce a také hmotnost, aby bylo možné konkrétní návrhy porovnat se sériovým řešením. Návrhy nesmí přesáhnout počet 15-ti dílů sestavy bočních dveří, aby inovací nedošlo k výraznému navýšení montážních časů.

Následný výběr optimálního řešení se bude posuzovat na základě splnění jednotlivých kritérií pro vytvoření nových konstrukčních řešení tzv. DFX metod. Varianta, která nejlépe vyhoví posuzovaným požadavkům, bude dále podrobena detailní konstrukci.

U vybraného inovovaného řešení se provede komponentní simulace statického zatížení pro kontrolu tuhosti. U bezpečnostních výztuh bočních dveří je požadována tuhost v rozmezí 200kN až 400kN. V případě nesplnění požadavku, by se mělo řešení optimalizovat tak, aby došlo k jeho dodržení. Následně se provedou simulace statických zatížení celé sestavy dveří, kterými se prověří vliv nového řešení na celou sestavu předních bočních dveří. Elastická deformace při simulaci prověšení předních dveří by neměla přesáhnout hodnotu 10 mm. Při zatížení vnitřní šachty je mezní hodnota stanovena 2 mm a při zatížení vnější šachty je mez elastické deformace 4 mm. U zatížení okenního rámu by boční dveře neměly překročit elastickou deformaci 10 mm ve středu rámu a 6 mm v oblasti B-sloupku.

V poslední fázi diplomové práce se návrh detailně zpracuje a upraví tak, aby byla prověřena a zajištěna jeho použitelnost, montovatelnost, popř. kontrolovatelnost. Vzdálenosti okolních dílů musí být takové, aby byla možná bezproblémová montáž okolních dílů a aby nedocházelo ke vzájemným kontaktům těchto dílů. Minimální vzdálenost 3 – 5 mm platí pro díly vzájemně se vůči sobě nepohybujících a 6 – 10 mm je dáno pro díly vzájemně se vůči sobě pohybujících. Navrhne se rozmístění RPS bodů pro správné testování a pro kontrolu rozměrovosti návrhu. Provede se analýza možných způsobů a důsledků závad – FMEA.

Výsledkem této diplomové práce bude provedení celé sestavy předních bočních dveří vozu SK 351 s použitím nejvíce vyhovujícího návrhu z hlediska splnění stanovených kritérií v CAD datech a vytvoření výrobního výkresu konkrétního inovovaného dílu.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Škoda Octavia – automobil s tradicí

Po založení firmy Laurin & Klement (L & K), což byl první název mladoboleslavské automobilky, a zahájení výroby nejprve jízdních kol, následně motocyklů a posléze i automobilů, bylo naprosto běžné, že továrna vyráběla i více různých typů automobilů současně a navíc téměř každý individuálně upravený podle přání budoucího majitele. Šlo totiž o výrobu kusovou, později malosériovou. Po sloučení mladoboleslavského závodu L & K s firmou ŠKODA Plzeň v roce 1925 se z ekonomických důvodů koncern snažil omezit počet typů automobilů na minimum a současně zvýšit sériovost výroby. K tomu prakticky došlo až po zřízení Akciové společnosti pro automobilový průmysl (ASAP) v rámci koncernu Škoda v roce 1930. Od roku 1934 do roku 1936 vyráběla ASAP současně tři typy velmi oblíbených a do mnoha zemí exportovaných automobilů. Byly to vozy Škoda Popular, Rapid a Superb. V letech 1937 až 1940 k nim přibyl i typ Škoda Favorit. Po druhé světové válce, po znárodnění automobilky, se již vždy vyráběla sériově současně jen jedna typová řada automobilů Škoda (kromě překrývání při náběhu výroby nového typu). Na základě těchto historických skutečností je možné říci, že vůz Škoda Octavia je v poválečné historii firmy prvním vozem střední třídy a současně i prvním vozem, který automobilka produkuje velkosériovým způsobem souběžně s vozem jiné typové řady (Felicia). Pro úplnost je nutné dodat, že je zároveň také třetím vozem stejného jména v mladoboleslavské automobilce. Octavia byl velmi oblíbený malý vůz vyráběný v druhé polovině padesátých let [19]. I. generací Octavie je však nazýván až vůz, který vznikl na základě koncernové platformy a jehož mnohé prvky jsou tedy unifikovány se stejnými komponenty použitými u dalších automobilů koncernu VW, ke kterému ŠKODA AUTO a.s. patří. I. generace Škody Octavia nesla typové označení SK 341. V současnosti je Octavia nejprodávanějším modelem značky Škoda a je již II. Generací.



Octavia  
1959 - 64



Octavia I.  
1996 - 2004



Octavia II.  
2004 - 2013



Octavia III.  
2013 - ?

Obr. 1: Historie Škody Octavia

## 2.2 Bezpečnostní a funkční požadavky na přední boční dveře

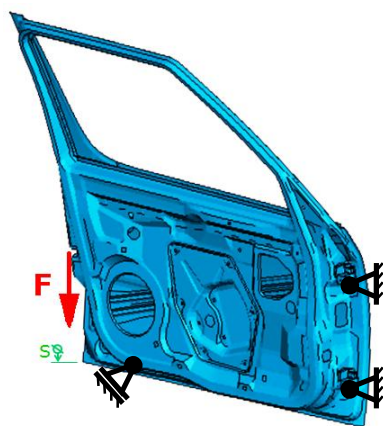
Bezpečnost je z marketingového hlediska jedním ze základních rysů automobilu a uživatele často zajímá více než ostatní vlastnosti vozu. [6] Aby dveře a veškeré komponenty s nimi spojené byly bezpečné a plnily svou funkci po celou dobu své životnosti, musí projít mnoha zkouškami, které prověří navrženou konstrukci, její pevnost i správnost zvolených materiálů při skutečné zátěži. Tyto testy se dají rozdělit do čtyř základních kategorií:

- statické zkoušky – měří se tuhost dílů a jejich sestav zatěžovaných danou silou
- životnostní zkoušky – ověřují funkčnost dílů při cyklickém zatěžování určitým počtem cyklů
- jízdní zkoušky – 8 000km při extrémní zátěži, 100 000km, zimní, letní
- bariérové zkoušky – čelní náraz, boční náraz, boční náraz do sloupu

## 2.3 Statické zkoušky předních bočních dveří

### 2.3.1 Prověšení bočních dveří

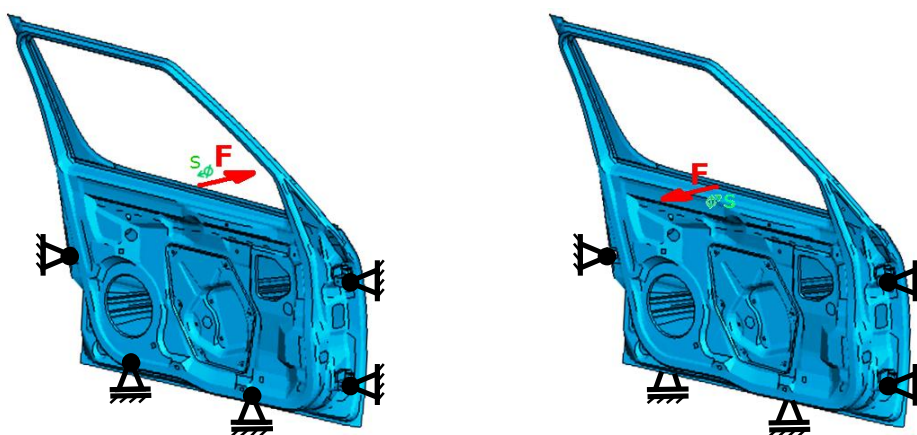
Dveře mají při otevírání (nastupování, vystupování) převzít vznikající síly bez omezení funkce. Tento stav se vyvodí zatížením dveří silou  $F = 1000\text{N}$  v místě zámku dveří. Silou se působí svisle dolů. Dveře jsou při zatěžování pevně uchyceny v tuhém rámu za závěsy. Pohybu dveří v závěsech je zamezeno opřením dolního rohu v zadní části dveří. Při prověšení dveří se měří elastická deformace během celého průběhu zatěžování a plastická deformace po odlehčení dveří.



Obr. 2: Prověšení bočních dveří

### 2.3.2 Zatížení okenní šachty vnější a vnitřní

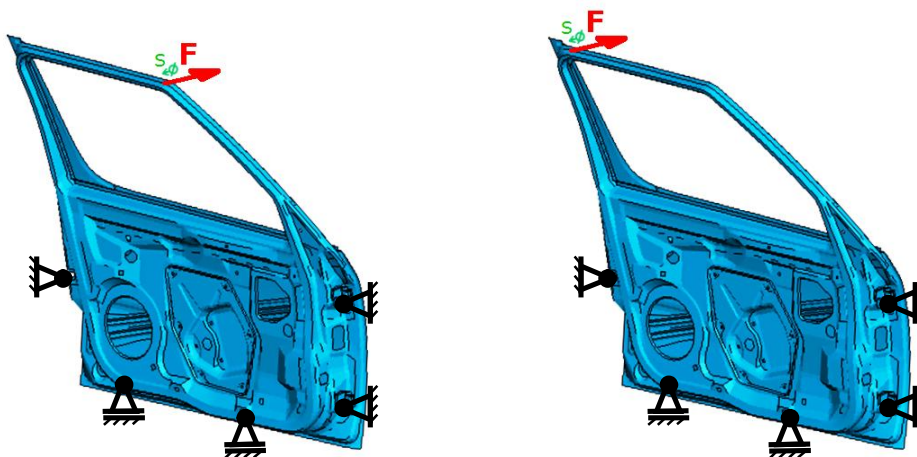
Dveře musí být v oblasti okenní šachty tak tuhé, aby tlak těsnění a skla okna nezpůsobil větší deformace. Je zde důležité zmínit, že okenní šachta musí být dostatečně tuhá, aby zvládla odolat pokusům o vloupání do vozidla. Elastická deformace okenní šachty se měří během celého průběhu zatěžování. Zatěžovací síla je omezena maximální hodnotou  $F = 200\text{N}$ . Dveře jsou při zatěžování pevně uchyceny v tuhém rámu za závěsy a zámek. Pohybu dveří v závěsech je zamezeno opřením vnitřního dílu dveří v jeho spodní části při měření vnější okenní šachty a opřením vnějšího dílu dveří v jeho spodní části při měření vnitřní okenní šachty.



Obr. 3: Zatížení okenních šachet

### 2.3.3 Zatížení okenního rámu ve středu a v oblasti B-sloupku

Okenní rám by měl být tak tuhý, aby reálně se vyskytující síly nezpůsobily větší deformace a tím nepříjemné aerohluky. Reálně se vyskytujícími silami je myšlen např. podtlak, který na dveře působí při vysoké rychlosti a způsobuje vyhybání rámu. Maximální zatěžovací síla je  $F = 400\text{N}$ .



Obr. 4: Zatížení okenních rámu



## 2.4 Přední boční dveře vozu Škoda Octavia II. generace

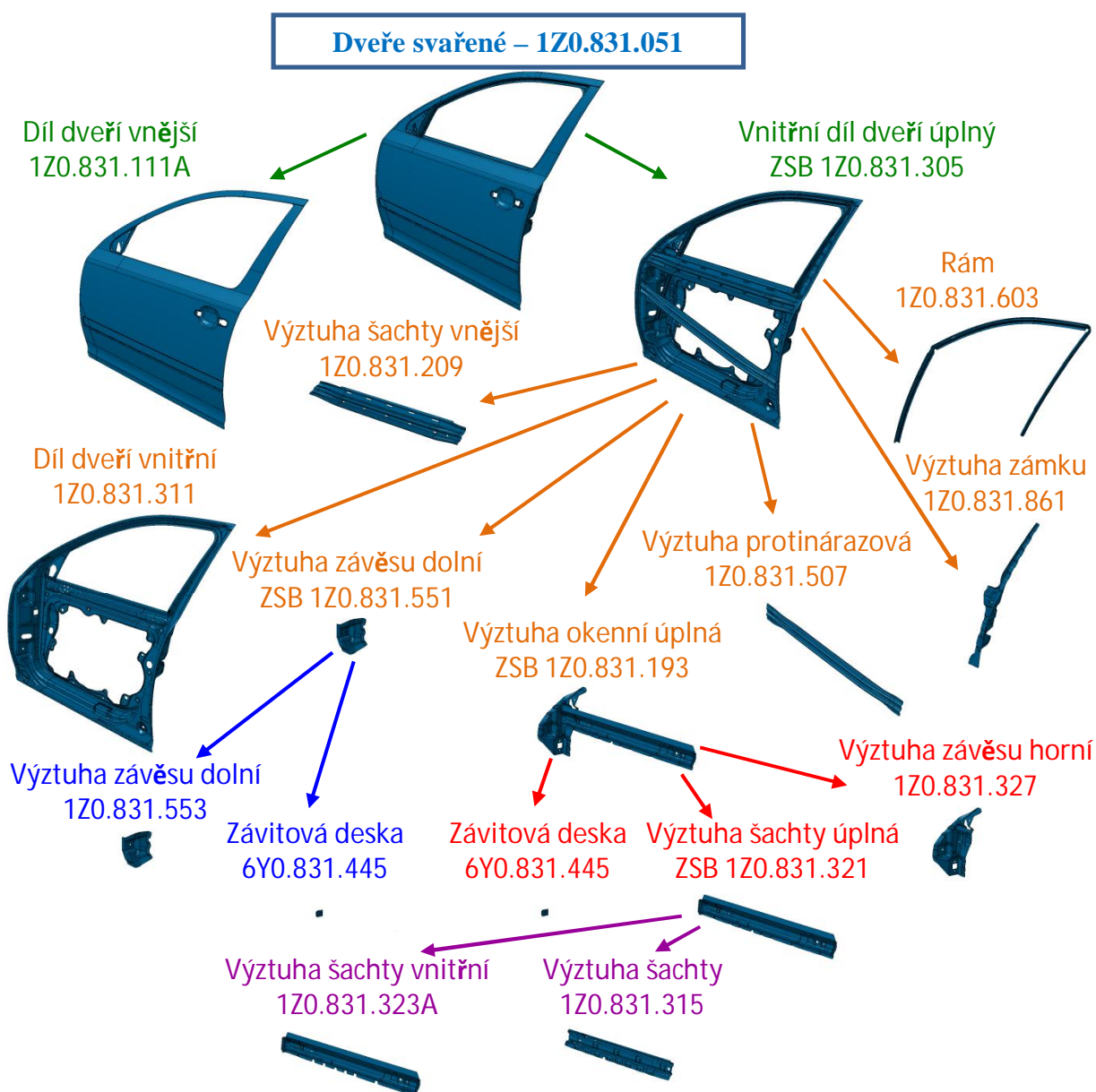
Škoda Octavia se v mladoboleslavské automobilce vyrábí ve dvou typech karoserie. A to sedan s označením „Octavia“ a combi s označením „Octavia combi“. Přední dveře jsou na rozdíl od zadních dveří u obou těchto typů karoserie naprosto shodné.

Přední boční dveře, jako i všechny ostatní dveře automobilu, patří do skupiny dílů, které se na karoserii montují až po jejím svaření. Pro skupinu těchto dílů se užívá název okovaná karoserie. Okovaná karoserie je tvořena svařencem skeletu s namontovanými a slícovanými díly, které prochází procesem povrchových úprav a lakováním. Dveře jsou pro tyto procesy na karoserii zavěšeny s veškerými zpevňujícími a bezpečnostními výztuhami a také samozřejmě se závěsy. Celá konstrukční sestava předních bočních dveří Škody Octavia II. generace, jak je schematicky vyobrazena na Obr. 5, se nazývá dveře svařené. Dveře svařené jsou samostatným montážním celkem, který se skládá z vnitřního dílu dveří, vnějšího dílu dveří, okenního rámu a různých výztuh. Vnitřní a vnější díl dveří jsou většinou nejrozměrnějšími díly a z jejich tvaru vyplývá typ celé konstrukce dveří. V tomto případě se jedná o lisované dveře, které se vyznačují tím, že součástí obou hlavních povrchových dílů lisovaných z ocelového plechu je i lisovaný rám. Oba tyto díly jsou k sobě spojeny po obvodu zalemováním s použitím konstrukčního lepidla. Před tímto spojením je vnitřní díl dveří zpevněn a vyztužen zbylými díly sestavy dveří svařených, které jsou spojeny svařem nebo kombinací svařů a lepení. Výztuhy v oblasti rámu dveří zvyšují jeho pevnost a tuhost. Nedostatečné vyztužení rámu se při jízdě výrazně projevuje aerohluky, netěsností dveří a také sníženou odolností proti vykradení vozidla. Výztuhy okenní šachty, protinárazové výztuhy a výztuhy závěsů zabraňují zborcení dveří při kolizi vozidla a chrání cestující při bočních nárazech. Během procesu aplikace povrchových úprav je na vnitřní stranu vnějšího plechu umístěna také magnetická fólie, která se během průchodu karosérie lakovnou přitaví k plechu. Fólie má protihlukovou funkci a potlačuje vznik rezonancí vnějšího dílu dveří při zavírání.

Ostatní výbava dveří se montuje až do nalakovaných dveří a montáž výpravy a výbavy dveří probíhá na dveřích vyjmutých z vozu na odděleném pracovišti, které je paralelní s montážní linkou vozu. Teprve úplně smontované dveře se zavěšují zpět do původní karosérie. K výbavě bočních dveří patří sklo, jejich těsnění a spouštěč skla, zámková soustava, výplň dveří a u předních dveří i vnější zpětné zrcátko.

## 2.5 Popis dílů předních bočních dveří vozu Škoda Octavia II. generace

Sestava předních dveří svařených se skládá z 12 dílů a 4 podsestav. Díly jsou vyobrazeny a popsány na Obr. 5, včetně jejich čísel, pod kterými jsou vedeny v kusovnících Škody Auto a.s. Podsestavy jsou označeny před číslem dílu písmeny ZSB. Pro usnadnění orientace je každá podsestava označena jinou barvou popisků. Pouze vnitřní díl dveří úplný je montován a svařen ve Škodě Auto a.s. Ostatní podsestavy jsou realizovány jako externí dodávky. Konečné zalemování celé sestavy dveří svařených je pak provedené v rámci Škody Auto a.s.



Obr. 5: Schéma dveří svařených včetně podsestav

### Díl dveří vnější

Vnější díl dveří má za úkol uzavírat mezidveřní prostor z vnější strany dveří. Vytváří tak pohledovou linii, která je dána designem vozu. Je vyroben lisováním z hlubokotažné oceli s vyšší pevností EN 10268 – HC 180B + ZE 50/50 BPO o tloušťce 0,7 mm. Materiál se vyznačuje nízkou mezí kluzu, která se zvyšuje dodatečným tepelným vytvrzením při lakování tzv. BH efektem. Je zde požadována zlepšená kvalita povrchu. Materiál je s oboustranně elektrolyticky nanášenou zinkovou vrstvou fosfátován a olejován. Pro výše zmíněnou montáž je použito jak konstrukční, tak těsnící lepidlo.

### Díl dveří vnitřní

Díl plní nosnou funkci celé sestavy bočních dveří a zajišťuje jejich základní tuhost. Připevňují se k němu téměř veškeré komponenty dveří – vařené, lepené nebo jinak montované. Je lisován přímo ve Škodě Auto a.s. z ocelového plechu EN 10346 – HX 260LAD + Z100MB o tloušťce 0,65 mm. Jedná se o hlubokotažnou nízkolegovanou ocel s vyšší pevností, která má zároveň nanášenou zinkovou vrstvu.

### Rám

Rámem je vyztužen vnitřní díl dveří v místě vylisovaného okenního rámu a zároveň vede při stahování okna, které se zasouvá do mezidveřního prostoru. Je dodáván firmou Linde Wiemann a vyráběn z hlubokotažné oceli EN 10346 – DX 53D + Z100MB o tloušťce 0,7 mm se zároveň nanášenou zinkovou vrstvou. Rám je k vnitřnímu dílu dveří připevněn 23 bodovými svary. Pro zvýšení pevnosti v oblasti vedení skla je rám připevněn také jedním bodovým svarem k dolní závěsové výztuze. K vnějšímu dílu dveří je rám nad okenní šachtou přilepen pevnostním lepidlem.

### Výztuha zámku

Už sám název výztuhy napovídá o její prioritní účelovosti. U vozu Škoda Octavia však zámková výztuha zpevňuje nejen zámkovou oblast, ale celou oblast B-sloupku. Od rámu, přes okenní šachtu až k zámku dveří. Výztuha je 9 bodovými svary a epoxidovým lepidlem připevněna k vnitřnímu dílu dveří a jedním bodovým svarem k vnitřnímu dílu dveří přes vnitřní výztuhu šachty. Dodavatelem a výrobcem je firma Massag. Vyrábí se z ocelového hlubokotažného plechu s vyšší pevností EN 10346 – HX 260LAD + Z100MB o tloušťce 0,75 mm, který má zároveň nanášenou zinkovou vrstvu.

### Výztuha okenní úplná

Výztuha šachty úplná je složena ze tří částí. Z výztuhy závěsu horní, závitové desky a podsestavy výztuhy šachty úplné. Každá z těchto částí je dodávána a vyráběna zvlášť, a to od tří různých dodavatelů.

Nejsložitější částí je podsestava výztuhy šachty, která je dodávána firmou Magna a je tvořena dvěma výztuhami. Výztuha šachty vnitřní, je z materiálu Litec Ragal 800DPF + Z100MB o tloušťce 1,2 mm. Výztuha šachty je také ze stejného materiálu, ale o tloušťce 1,5 mm. Obě výztuhy jsou svařeny 17 laserovými svary ve dvou řadách. V horní části je 9 svarů každý 20 mm dlouhý a v dolní části je 8 svarů každý o délce 10 mm. Z počátku byly v této podsestavě tři řady laserových svarů. Během dalšího vývoje se však prokázalo, že jednu řadu laserových svarů, bezpečně nahradí řada bodových svarů. Dosáhlo se tak značné úspory.

Druhou částí okenní výztuhy úplné je výztuha závěsu horní, dodávaná firmou SNOP z materiálu EN 10346 – HX 260LAD + Z100MB o tloušťce 1,7 mm. Horní závěsová výztuha je k výztuze šachty úplné upevněna 6 bodovými svary a dvěma koutovými svary MAG s označením a1  $\nabla$  10 mm. Navíc je výztuha šachty při výrobě dodatečně zpevněna 5 bodovými svary mezi laserovými svary.

Třetí část dodává firma Massag a je jí závitová deska o tloušťce 5 mm. Vyrábí se z oceli s vyšší pevností válcované za tepla EN 10149-2 – S 420MC. Deska je přivařena dvěma koutovými MAG svary a2  $\nabla$  10 mm k výztuze závěsu horní.

### Výztuha šachty vnější

Pro zvýšení pevnosti a tuhosti vnějšího dílu dveří a okenní šachty je oblast doplněna výztuhou šachty vnější. Výrobcem a dodavatelem je firma TATRA, která vyrábí výztuhu z hlubokotažné oceli s vyšší pevností EN 10346 – HX 340LAD + Z100MB o tloušťce 1 mm. Jedná se o nízko legovanou ocel s žárově nanášenou zinkovou vrstvou. Výztuha je v přední části připevněna přes horní výztuhu závěsu dvěma bodovými svary k vnitřnímu dílu dveří. V zadní části je také připevněna k vnitřnímu dílu dveří, ale tentokrát přes zámkovou výztuhu. Ve třech horizontálních úrovních je výztuha v celé své délce přilepena konstrukčním a těsnícím lepidlem. Lepené spoje jsou ve dvou místech doplněny nanesením epoxidového lepidla v délce 2 x 100 mm.

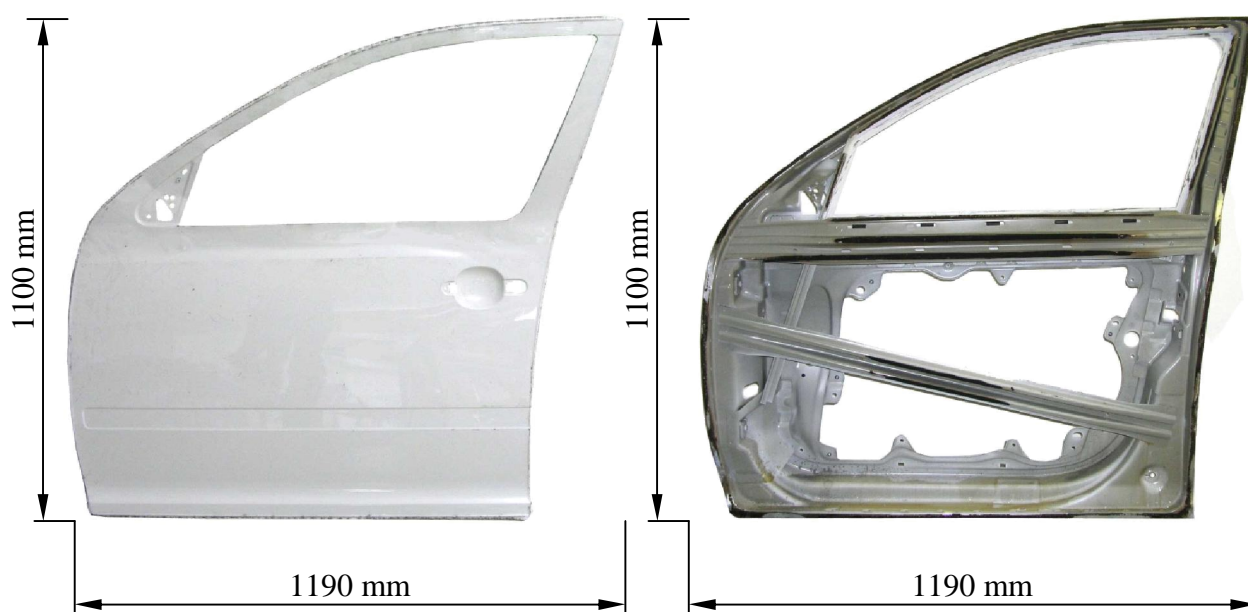
### Výztuha závěsu dolní

Napomáhá k vyztužení místa pro upevnění dolního závěsu dveří. To je zajištěno ocelí s tloušťkou 2 mm. Firma Massag, která výztuhu vyrábí, používá k výrobě hlubokotažnou ocel s vyšší pevností EN 10346 – HX 260LAD + Z100MB. Materiál je s žárově nanášenou zinkovou vrstvou. Výztuha je dodávaná včetně závitové desky, která je přivařena dvojicí koutových svarů které jsou označeny a2,5  $\nabla$  2x20 mm. Do závitové desky se přes závěsovou výztuhu a vnitřní díl dveří upevňuje šroubem M10 dolní závěs dveří.

### Výztuha protinárazová

Poslední částí sestavy dveří svařených je protinárazová výztuha, která je jedním z nejdůležitějších bezpečnostních dílů. Chrání posádku při bočním nárazu vozidla. Na protinárazovou výztuhu jsou kladeny vysoké požadavky na absorpci energie a vynikající pevnost. Díl je vyráběn a dodáván firmou Magna. Výztuha se vyrábí z martenzitické vysokopevnostní oceli válcované za tepla označované MSV 1200 + ZE 50/50 o tloušťce 1,5 mm. Materiál je s oboustranně nanášenou zinkovou vrstvou. Výztuha je připevněna 6 bodovými svary k vnitřnímu dílu dveří. Jedním z bodů je zároveň přivařena i výztuha závěsu horní. V délce 300 mm je výztuha dvakrát přilepena těsnícím lepidlem k vnějšímu dílu dveří pro jeho zpevnění.

Celá zkompletovaná reálná sestava dveří svařených včetně vnějších rozměrů je na Obr. 6, kde byl pro názornost odstraněn vnější díl dveří.



Obr. 6: Pohled na dveře SK 351 z vnějšku

### 3 Analýza konkurenčních vozů

Škoda Octavia patří do kategorie nižší střední třídy. Na evropském automobilovém trhu má v této kategorii mnoho konkurentů. Z analýzy konkurenčních vozů byly automaticky vyřazeny vozy, které ani zdaleka nedosahovaly stejného hodnocení v Euro NCAP jako Škoda Octavia. Pro analýzu byly nakonec vybrány čtyři vozy různých značek, jejichž přední dveře byly podrobeny detailní analýze. Jedno z nejdůležitějších kritérií výběru bylo již zmíněno, a to hodnocení Euro NCAP s minimem 4 hvězdiček v hodnocení čelního a bočního nárazu. Další kritériem byl typ karoserie. Základem vozidla musela být 5-ti dveřová karoserie a s tím souvisí i další požadavek – rozměry předních bočních dveří analyzovaného vozu musely být téměř shodné s rozměry dveří vozu Škoda Octavia, aby bylo možné posoudit konkurenční řešení z hmotnostního hlediska. Posledním kritériem výběru bylo zajímavé a konstrukčně odlišné řešení dveří. To zaručovalo takovou analýzu, která bude inspirativní pro tvorbu nových konstrukčních návrhů.

V následující tabulce jsou shrnuty základní parametry vybraných konkurentů.

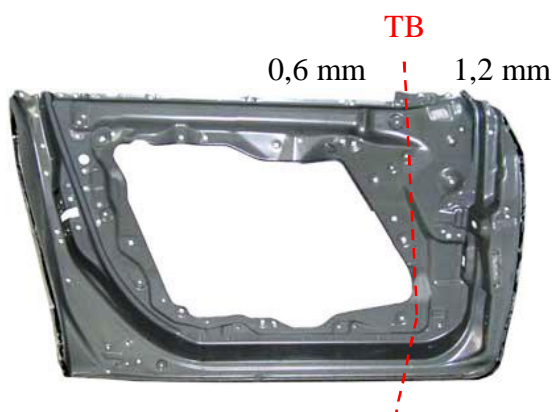
Tab. 1: Přehled vybraných konkurentů pro analýzu

Model	Hodnocení čelního a bočního nárazu	Rozměry předních dveří l x h [mm]	Zajímavost řešení
Mazda 3	★★★★☆	1300 x 1210	Vnitřní díl dveří z Tailored Blanks
Toyota Auris	★★★★★	1250 x 1180	Vnitřní díl dveří ze dvou dílů – bodově svařené
BMW 120	★★★★☆	1210 x 1120	Vnitřní díl dveří z Tailored Blanks, jednoduchost konstrukce
Peugeot 308	★★★★★	1270 x 1180	Protinárazová výztuha - hliník

### 3.1 Mazda 3

Pro analýzu konkurence na trhu, byl jako první vybrán automobil japonského výrobce Mazda. Jednalo se o první generaci vozu s typovým označením Mazda 3. U tohoto vozu byly použity přední boční dveře rámového typu. Konstrukce dveří rámového typu se vyznačuje samostatně vyrobeným vnitřním dílem dveří, tzn. bez rámu.

Použitím vnitřního dílu dveří, vyrobeného technologií Tailored Blanks, umožnilo Mazdě zkonstruovat velmi lehké přední boční dveře. Technologií laserem svařeného přístřihu se u vnitřního dílu dveří spojily plechy o tloušťce 1,2 mm a 0,6 mm. Silnější plech byl použit na přední část dílu v oblasti A-sloupku. Což znamená, že je i v místě uchycení závěsů dveří. Laserový svar je znázorněn na Obr. 7.



Obr. 7: Vnitřní díl dveří Mazda 3

Skladba A-sloupku je bez výztuhy dolního závěsu dveří. Závěs se upevňuje šrouby přes vnitřní díl dveří do závitové desky, která je přivařena dvěma body k vnitřnímu dílu. Shodná závitová deska je i pro upevnění horního závěsu, kde je použita v kombinaci s horní výztuhou závěsu. Horní závitová deska je připevněna také dvěma svarovými body. Na rozdíl od závitové desky pro dolní závěs dveří, je horní závitová deska přivařena dvěma body přes tři plechy. Z nichž jeden je závitová deska o tloušťce 6 mm. Rám je složen ze 3 dílů, které jsou svařeny technologií CO2. Vyztužení okenního rámu v oblasti A-sloupku je pomocí dvou výztuh, a to držákem zrcátka a výztuhou závěsu horní. Vzájemné spojení těchto výztuh s rámem je také pomocí CO2 svarů. Rám je zpevněn výztuhou i v oblasti B-sloupku. Výztuha je bodovými svary spojena s výztuhou zámku.

Vodící rám je v horní části přivařen k držáku zrcátka. V dolní části je pomocí držáku přivařen k vnitřnímu dílu dveří.

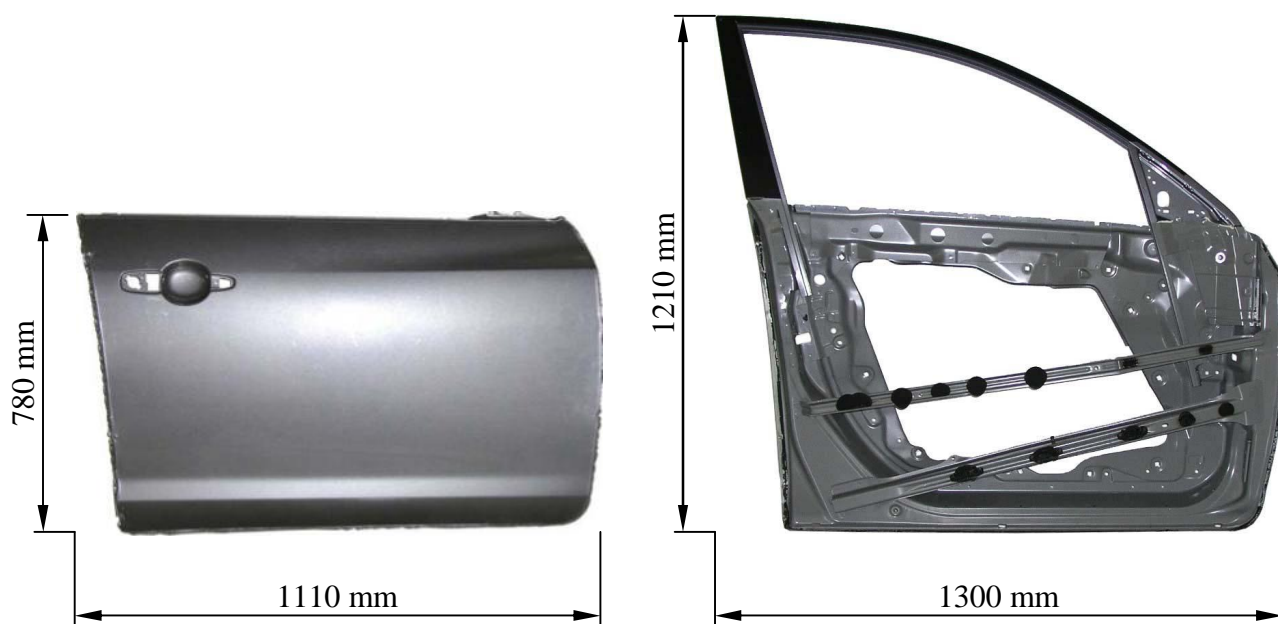
Pro zvýšení tuhosti dveří v oblasti okenní šachty je v těchto místech použita výztuha, která je spojena s vnitřním dílem dveří a s výztuhou rámu bodovými svary.

Vyztužení dveří proti bočnímu nárazu zajišťuje lisovaná protinárazová výztuha, která je 9 bodovými svary přivařena k vnitřnímu dílu dveří. Na 5 místech je protinárazová výztuha přilepena k vnějšímu dílu dveří.

Vnější díl dveří je také vyztužen výztuhou, která je na sedmi místech k tomuto dílu přilepena a třemi bodovými svary přivařena k vnitřnímu dílu dveří.

Veškeré díly jsou vyrobeny z ocelového plechu. Spojení dílů je tvořeno bodovými svary nebo CO2 svary. Pouze u vnějšího dílu dveří jsou bodové svary a lemování doplněny lepidlem.

Rozpad dveří vozu Mazda 3 je zobrazen v příloze č. 3. Podrobný popis dílů včetně hmotností, rozměrů a použitých materiálů je v příloze č. 4.



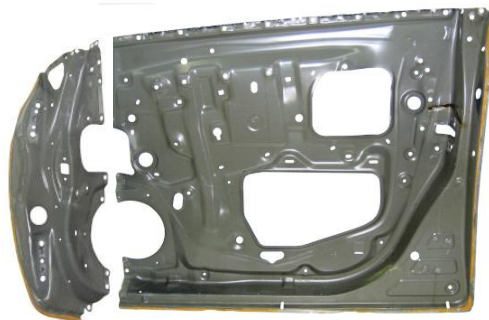
Obr. 8: Pohled na dveře Mazdy 3 z vnějšku



### 3.2 Toyota Auris

Druhý konkurenční vzorek dveří pocházel rovněž z vozu japonské automobilky, ale tentokrát to byla Toyota s modelem Auris. Toyota u první generace Aurisu zvolila konstrukci předních bočních dveří rámového typu.

Vnitřní díl dveří je vyroben ze dvou dílů různých tloušťek plechů. Pro přední díl byl použit plech 1,4 mm silný a pro zadní díl 0,7 mm silný. Oba díly jsou k sobě spojeny devíti bodovými svary Obr. 9.



Obr. 9: Vnitřní díl dveří Toyoty Auris

Upevnění dolního závěsu se realizovalo pouze přidáním závitové desky k přednímu vnitřnímu dílu dveří, která je přivařena dvěma body. Pro oblast upevnění horního závěsu byla zvýšena tuhost výztuhou zrcátka, na které je horní závitová deska přivařena také dvěma body, ale přes tři plechy. Dolní závitová deska má tloušťku 2,3 mm a horní závitová deska je z materiálu o tloušťce pouze 1 mm.

Okenní rám je svařen ze čtyř profilů CO2 svary. Na přední rám je v dolní části přivařen držák. Rám se tímto držákem připevňuje k vnitřnímu dílu dveří šroubem M6. Zpevnění rámu v A-sloupku napomáhá spojení s výztuhou zrcátka a v B-sloupku zajišťuje dostatečnou tuhost rámu jeho spojení se zámkovou výztuhou.

Okenní šachta je zpevněna dvojicí výztuh z obou stran, které jsou bodovými svary přivařeny jak k výztuze zrcátka a rámu, tak k zámkové výztuze a rámu. Zámková výztuha, výztuha zrcátka, celý rám, výztuha zámku a obě šachtové výztuhy tvoří dohromady jeden samostatný svařenec (Obr.10), který je zalemován a přivařen k vnitřnímu dílu dveří.



Obr. 10: Svařenec rámu Toyoty Auris

Protinárazová výztuha je z trubkového polotovaru o průměru 32 mm, který je z jedné strany zploštěn (Obr. 11).



Obr. 11: Protinárazová výztuha Toyota Auris

Na obou koncích je k vnitřnímu dílu dveří připevněna pomocí držáků. Na výztuze jsou další tři držáky, z nichž jeden slouží k upevnění spouštěče okna, zbylé dva jsou přilepeny k výztuze a vnějšímu dílu dveří.

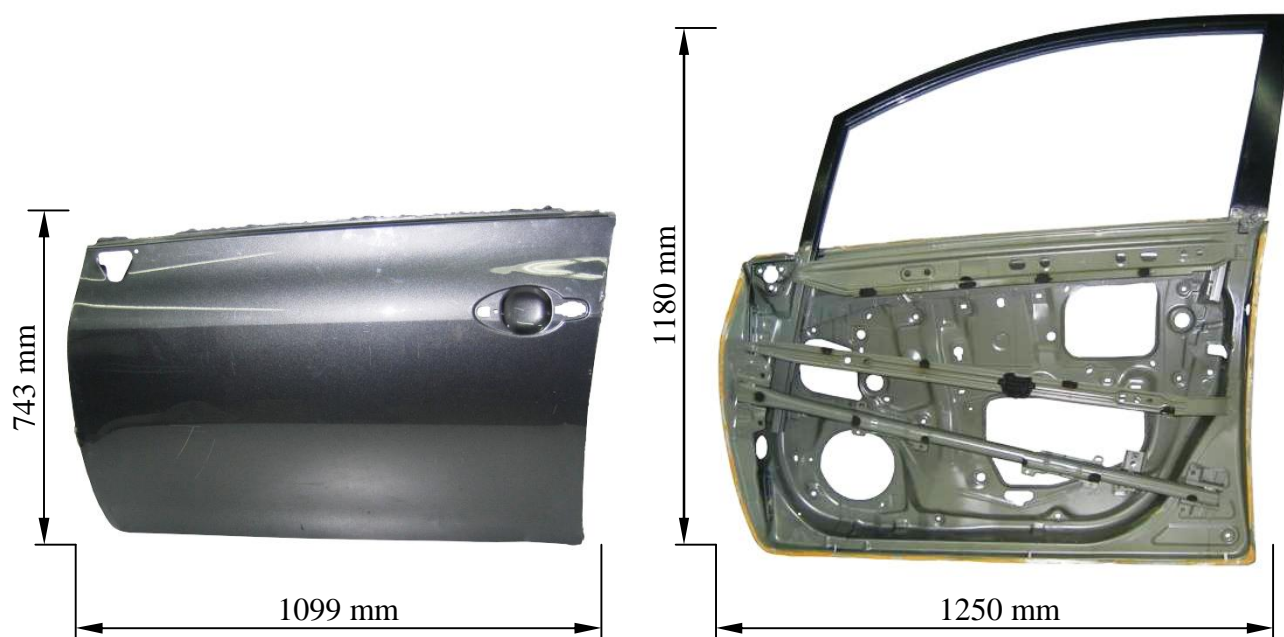
K vyztužení vnějšího dílu dveří je napříč celými dveřmi plechová profilovaná výztuha, která je k tomuto dílu přilepena.

Kromě protinárazové výztuhy jsou díly vyrobeny z ocelového plechu.

Spojení dílu je realizováno bodovými nebo CO2 svař, popřípadě šroubovým spojením.

Pro připevnění vnějšího dílu dveří je použito svařových bodů, lemování a lepení.

Rozpad dveří vozu Toyota Auris je v příloze č. 5. Podrobný popis dílů včetně hmotností, rozměrů a použitých materiálů jsou v příloze č. 6.

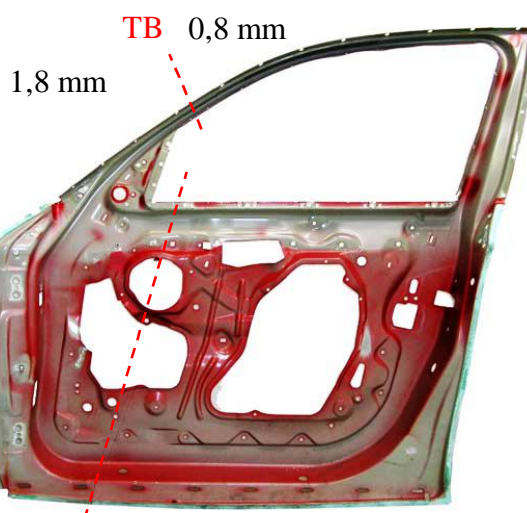


Obr. 12: Pohled na dveře Toyota Auris z vnějšku

### 3.3 BMW 120

Třetí vůz, vybraný pro analýzu, pochází z německé automobilky BMW a dodává se na evropský trh pod označením BMW 120. Na rozdíl od předešlých konkurenčních vozů má BMW 120 přední boční dveře konstruované odlišným způsobem. Na těchto dveřích byla použita konstrukce kombinovaného typu. To znamená, že vnitřní díl dveří je vylišován v celku s rámem, ke kterému je další rám připevněn pro zpevnění.

Pro výrobu vnitřního dílu dveří se použilo přístřihu vyrobeného technologií Tailored Blanks. Byly použity plechy o tloušťce 0,8 mm a 1,8 mm, které byly laserem svařeny a teprve potom lisovány. Umístění laserového svaru je naznačeno červenou přerušovanou čarou na Obr. 13.



Obr. 13: Vnitřní díl dveří BMW 120

Vkládaný rám je 50-ti bodovými svary spojen s vnitřním dílem dveří. Na Obr. 14 je vidět, že rám je vylišován v celku s výztuhou zrcátka a šachty.



Obr. 14: Rám BMW 120

Závěsy dveří se připevňují maticemi do dvou šroubových desek. Šroubové desky jsou přivařeny, každá jedním svarovým bodem, k vnitřnímu dílu dveří z vnitřní strany. Vodící rám je v horní části přivařen jak k rámu, tak k vnitřnímu dílu dveří. V dolní části byl použit pro upevnění vodícího rámu držák, který je k rámu i vnitřnímu dílu také přivařen.

Rozměrná výztuha šachty je z větší části přilepená k vnějšímu dílu dveří. K vnitřnímu dílu je však v oblasti A-sloupku a B-sloupku přivařena čtyřmi bodovými svary.

Protinárazová výztuha je montovaná a lisovaná z plechu. Připevňuje se dvěma šrouby skrz vnitřní díl dveří. Ve výztuze jsou pouze otvory pro šrouby, které jsou opatřeny závitovými sponami, do nichž jsou šrouby zašroubovány (Obr. 15).

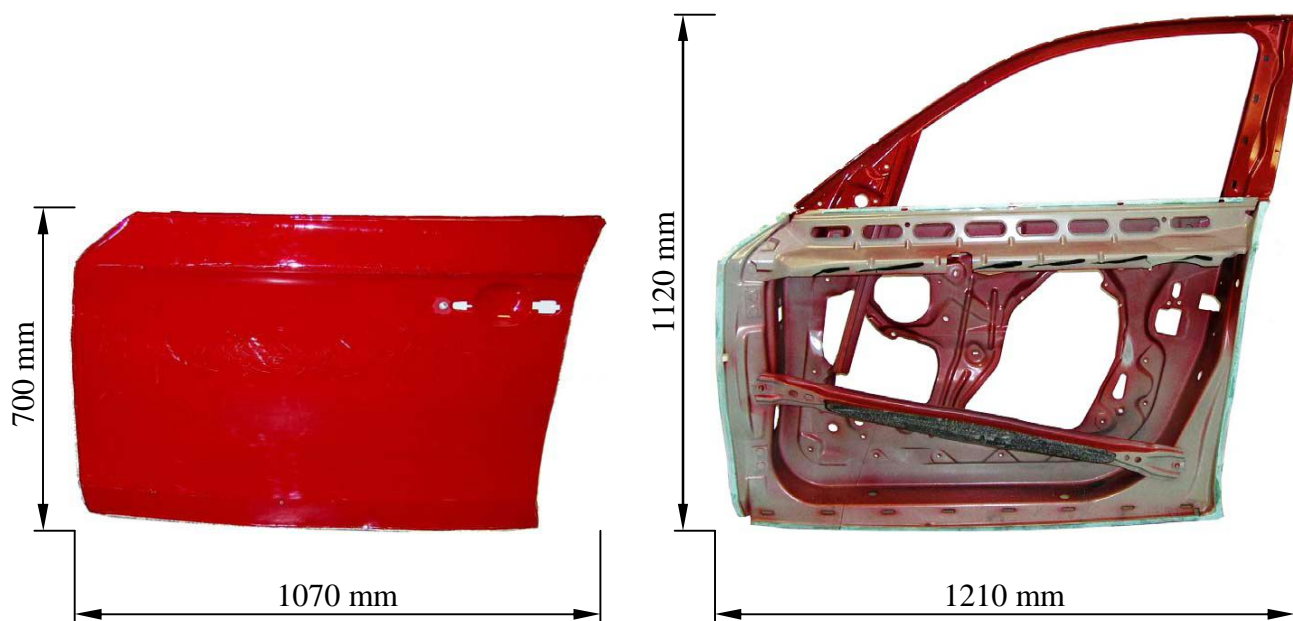


Obr. 15: Připevnění protinárazové výztuhy BMW 120

Šroub, kterým se upevňuje protinárazová výztuha ve spodní části dveří, slouží také pro upevnění hliníkového záchytného háku. Tento hák zabraňuje zborcení dveří při bočním nárazu a aretuje dveře v B-sloupku karoserie.

Kromě záchytného háku jsou zbylé díly dveří vyrobeny z ocelového plechu. Mimo šroubového spojení protinárazové výztuhy, zalemování a přilepení vnějšího dílu dveří jsou díly spojeny bodovými svary.

Rozpad dveří vozu BMW 120 je v příloze č. 7. Podrobný popis dílů včetně hmotností, rozměrů a použitých materiálů jsou v příloze č. 8.



Obr. 16: Pohled na dveře BMW 120 z vnějšku

### 3.4 Peugeot 308

Poslední analyzované dveře pochází z vozu francouzské automobilky Peugeot z modelu 308. U tohoto modelu Peugeot zvolil podobnou konstrukci předních bočních dveří jako Škoda pro Octavii. Typově se jedná o lisované dveře.

Vnitřní díl dveří je lisován v celku s vnitřní částí rámu, vnější díl dveří je lisován vcelku s vnější částí rámu.

Oblast připevnění závěsů dveří je vyztužena jednou výztuhou pro oba závěsy dohromady. Na této výztuze jsou připevněny obě závitové desky pro přišroubování závěsů a držák protinárazové výztuhy.

Vkládaný, jednodílný rám je v A-sloupku vyztužen výztuhou rámu přední a v B-sloupku výztuhou rámu zadní. Tato výztuha je s výztuhou zámku spojena pomocí dalších dvou pomocných výztuh 1 a 2.

Zpevnění okenní šachty dvěma výztuhami je ještě doplněno trubkovou protinárazovou výztuhou horní o průměru 32 mm, která je osmi svarovými body připevněna z vnitřní strany k vnitřní výztuze šachty.

Výztuha závěsů se závitovými deskami a držákem protinárazové výztuhy, rám, výztuha rámu přední a zadní, výztuha 1 a 2, obě výztuhy šachty doplněné o držák zrcátka a protinárazová výztuha horní, tvoří jednu montážní sestavu (Obr. 17). Po smontování a svaření se tato sestava vloží a připevní do vnitřního dílu dveří.



Obr. 17: Montážní sestava rámu Peugeot 308

Dveře jsou také vyztuženy v oblasti zámku zámkovou výztuhou, která slouží pouze k lokálnímu vyztužení místa pro připevnění zámku. Je přivařena čtyřmi bodovými svary k vnitřnímu dílu dveří a není spojena s ostatními výztuhami.



Protinárazová výztuha dolní, která je z hliníkového profilu zobrazeného na Obr. 18 se do vnitřního dílu dveří připevňuje dvěma šrouby M8.



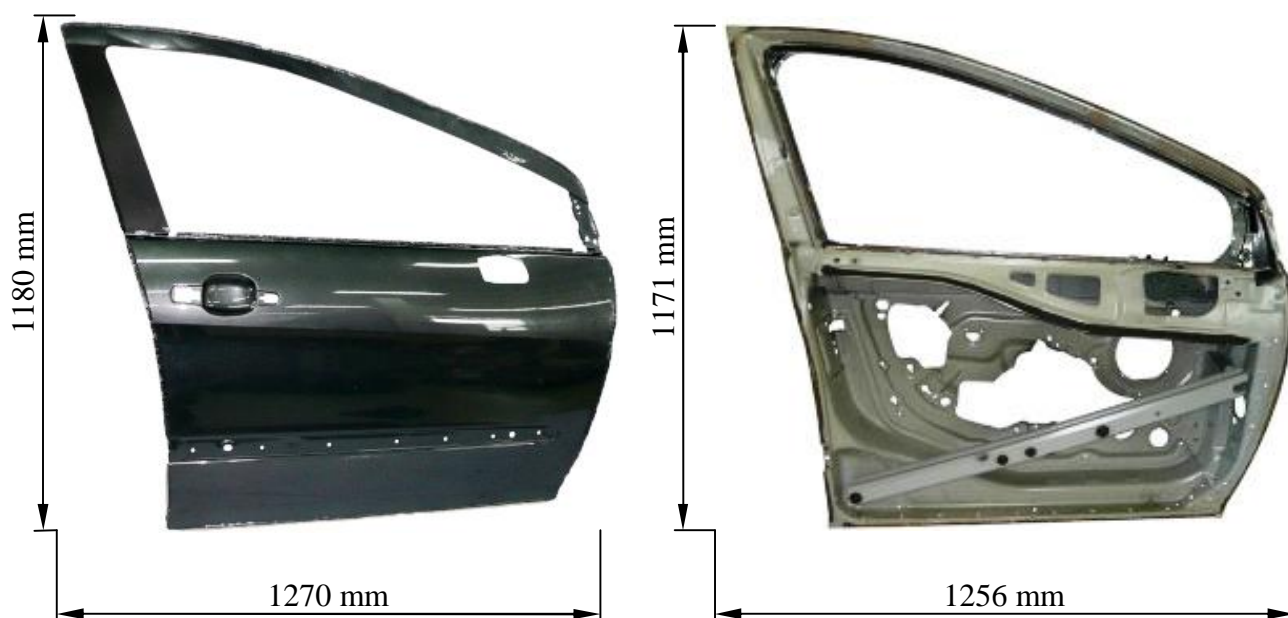
Obr. 18: Profil protinárazové výztuhy Peugeot 308

Šroub v dolní části výztuhy se šroubuje přes vnitřní díl dveří do výztuhy. Horní šroub výztuhy se šroubuje přes výztuhu do držáku protinárazové výztuhy.

Pro kompletní sestavu předních bočních dveří je ještě na vnitřní díl dveří z vnější strany přivařen čtyřmi bodovými svary držák otevírání.

Všechny díly dveří jsou vyrobeny z ocelového plechu kromě hliníkové protinárazové výztuhy. Mimo šroubového spojení protinárazové výztuhy, zalemování a přilepení vnějšího dílu dveří jsou díly spojeny bodovými svary.

Rozklad dveří vozu Peugeot 308 je v příloze č 9. Podrobný popis dílů včetně hmotností, rozměrů a použitých materiálů jsou v příloze č. 10.



Obr. 19: Pohled na dveře Peugeot 308 z vnějšku

### 3.5 Zhodnocení současné situace na trhu

Základní údaje zjištěné analýzou předních bočních dveří konkurenčních automobilů jsou shrnuty v následující tabulce Tab. 2, do které se pro přehlednost doplnily i hodnoty předních bočních dveří Škody Octavie II. generace.

Tab. 2: Přehled zjištěných informací

Model	Hmotnost předních bočních dveří [kg]	Počet dílů [ks]	Použité konstrukční materiály
Škoda Octavia II	16,889	12	Ocel, strukturální lepidla
Mazda 3	14,033	16	Ocel, strukturální lepidla
Toyota Auris	17,832	12	Ocel, strukturální lepidla
BMW 120	14,317	11	Ocel, hliník, strukturální lepidla
Peugeot 308	18,767	20	Ocel, hliník, strukturální lepidla

Analýzou předních bočních dveří Mazdy 3 bylo zjištěno, že zprvu vypadající jednoduchá konstrukce obsahuje mnohem více dílů sestavy než boční dveře Škody Octavie. Ale i přesto dokázali konstruktéři z Mazdy váhu celé sestavy dveří udržet na nejnižší hodnotě ze všech analyzovaných vozů. Váhový rozdíl oproti Octavii se vyšplhal až na hodnotu 16,9%. Naproti tomu Toyota Auris se tímto úspěchem pochlubit nemůže. Sestava předních bočních dveří Aurisu má sice shodný počet použitých dílů jako Octavia, ale váhově je horší o znatelných 5,6%. Nejlepších výsledků, z pohledu počtů dílů sestavy, dosáhli vývojoví pracovníci z BMW u modelu BMW 120, který má sestavu předních bočních dveří složenou pouze z 11 dílů. Ve srovnání s Octavií je to o 1 díl méně. Pokud budeme srovnávat i hmotnost, pak i tady je znatelná úspora. A to o 15,2%. Peugeot 308 svými výsledky vůbec neuchvátil. Během analýzy se zjistilo příliš velké množství použitých komponentů v sestavě, které se vyšplhalo až na hodnotu 20ks. Podobně špatných hodnot Peugeot 308 dosáhl i co se týče hmotnosti, která byla ve srovnání s Octavií o celých 11,1% vyšší.

Vzhledem k velmi složité konstrukční sestavě předních bočních dveří se rozhodlo, že následující část diplomové práce bude zaměřena na řešení pouze jedné součásti. Zvolenou součástí je protinárazová výztuha, která je váhově nejvýznamnější díl, který má vyztužovací a bezpečnostní charakter a proto by zde mohlo dojít k nejvýraznější hmotnostní úspoře.

## **4 Návrhy konstrukce inovovaných řešení s ohledem na hmotnost dveří**

Dnešní automobilový průmysl čelí stále se zvyšujícím nárokům na bezpečnost cestujících a chodců. Požadovaná bezpečnost má za následek narůstající podíl mnoha aktivních bezpečnostních prvků a zařízení, která navyšují hmotnosti vozidla a hatí tak snahy konstruktérů o lehčí vůz. Budování bezpečnějších a ekologicky šetrných vozů se stává prioritou číslo jedna. Pro výrobce a dodavatele automobilových dílů to znamená přijetí nového trendu – výrobu produktů, které jsou bezpečnější, ekologičtější, lehčí a více nákladově efektivnější. Každé malé zlepšení se může proměnit v konkurenční výhodu, a proto se po celém světě stále více společností obrací ke konstruování součástí z vysokopevnostních za tepla nebo za studena tvářených ocelí či hliníkových slitin.

Při návrhu nových inovativních řešení přinášejících úsporu hmotnosti byly zohledněny především tyto faktory:

- požadavky na tuhost celé soustavy vymezující možnou redukci tloušťky materiálu jednotlivých dílů
- geometrické a konstrukční provedení dílu určující nejvyšší možnou pevnost použitého materiálu
- zástavbové možnosti dílů v sestavě a jejich poloha vůči okolním dílům
- metody výroby dílů popř. tváření dílů
- vysoká absorpce energie, která je rozhodující vzhledem k bezpečnostní povaze dílu
- ochrana životního prostředí, zejména míra spotřeby energií na výrobu a recyklaci výrobku po ukončení jeho životního cyklu

Pro zástavbu nových konstrukčních řešení protinárazové výztuhy předních dveří vozu SK 351 bylo použito 3D dat konkrétních sestav okolních dílů dveří svařených, které byly jednotlivými odbornými útvary ve Škodě Auto a.s. poskytnuty.

U všech nových návrhů protinárazové výztuhy je brána zřetel na co nejmenší zásah do konstrukce a stavby celých dveří svařených. Jednotlivé varianty jsou navrženy tak, aby byla možná jejich implementace při stávající sériové montáži s co nejmenším rozsahem úprav okolní konstrukce.



## Volba materiálu

Konstrukční materiály se dají rozdělit do šesti základních skupin: kovy, keramika, polymery, elastomery, skla a hybridní materiály. [8] Správná volba materiálu je složitý problém, a proto je třeba k ní přistupovat z mnoha hledisek. Samozřejmostí by měla být úvaha o vlastnostech, kterými by vybraný materiál zaručoval správnou funkci navrhované součásti (mez pevnosti v kluzu, mez pevnosti v tahu, tažnost, modul pružnosti, hustota). Kromě této úvahy by se při volbě měla zohlednit také náročnost výroby, dopad na životní prostředí a bezesporu i ekonomičnost. Přehled vybraných materiálů používaných v automobilovém průmyslu, které splňují fyzikální a mechanické předpoklady pro návrh a hmotnostní optimalizaci konstrukce protinárazové výztuhy jsou zobrazeny v tabulce Tab. 3. Hlubokotažná ocel je rozhodujícím materiálem pro srovnání s ostatními materiály vzhledem k jejímu nejčastějšímu použití v automobilovém průmyslu.

Náročnost výroby je v tabulce rozdělena do tří procesních částí – tváření, spojování a povrchové úpravy. Každá část procesu výroby je ohodnocena stupnicí bodů od 1 do 10. Hlubokotažná ocel je stále ve výrobě převládajícím materiálem a tudíž výrobní zařízení vyskytující se v běžné praxi je vysoce kompatibilní s jejím zpracováním. A proto má vysoké hodnocení. Naproti tomu zpracování hořčíku je velice nákladné a složité a s tím souvisí i jeho nízký počet bodů při posuzování náročnosti výroby. Nízké hodnocení materiálu také vypovídá o zavádění nových a nákladných postupů nezbytných při jeho použití.

Dopad na životní prostředí se dá rozdělit na dvě základní hlediska. Jedním hlediskem je vznik CO<sub>2</sub> a škodlivých emisí při výrobě a druhým je vznik zátěže pro životní prostředí na konci životního cyklu výrobku. Materiál hodnocený z environmentálního hlediska deseti body je bezproblémově zpracovatelný a jeho likvidace je bez větších komplikací. Naproti tomu nízké bodové ohodnocení materiálu poukazuje na velkou zátěž pro životní prostředí při jeho výrobě i na náročnou likvidaci výrobku z tohoto materiálu vyrobeného.

Ceny materiálů závisí na kvalitě a také na čase, protože samozřejmostí je u cen jejich kolísavost s časem. Navzdory těmto nejistotám, je potřeba alespoň orientační ceny k jednotlivým materiálům uvést. Cena hlubokotažné oceli je zde brána jako základní, která má hodnotu 1 a ostatní materiály mají uvedené ceny vyjádřené v násobcích ceny této oceli.

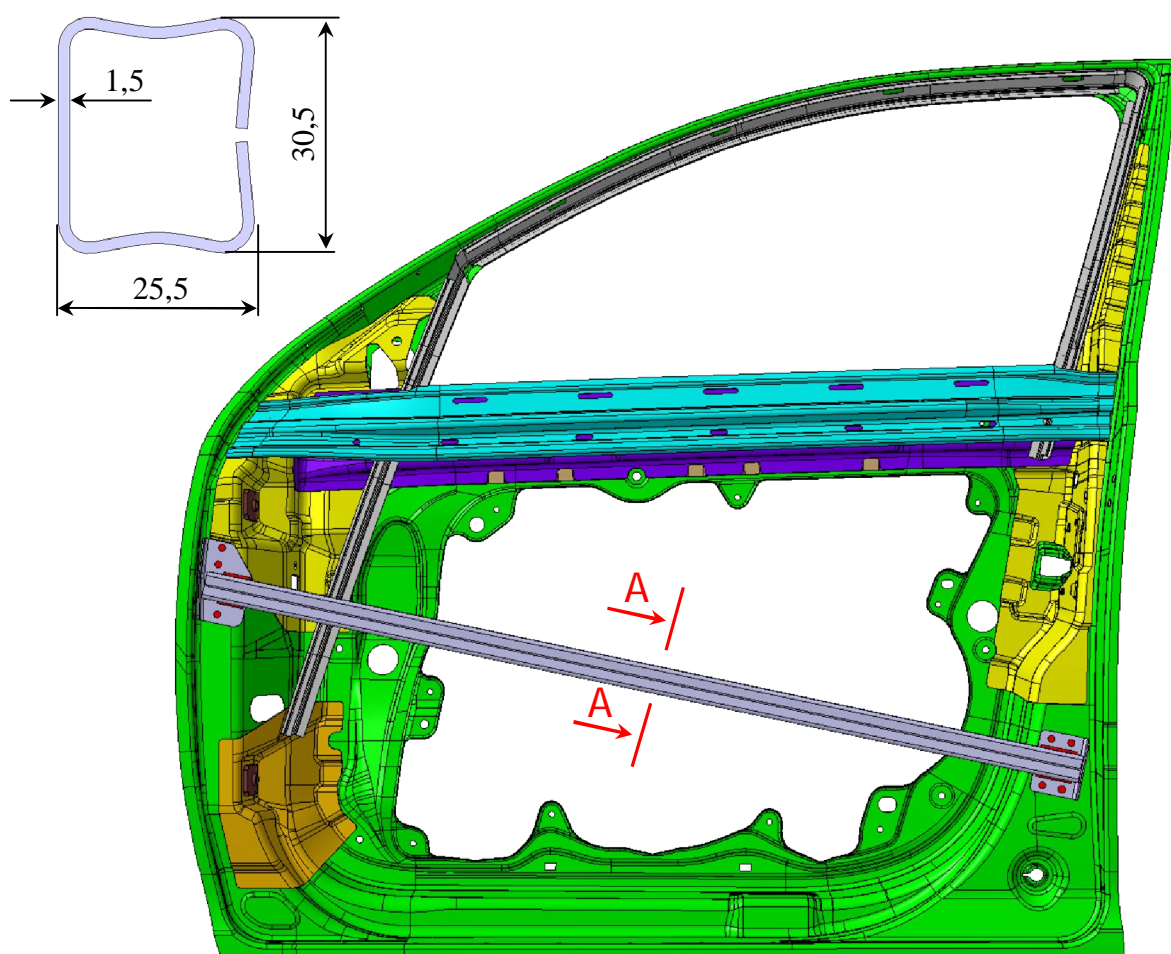
Tab. 3: Přehled vybraných materiálů používaných v automobilovém průmyslu [9]

Kritéria Materiál	Materiálové vlastnosti					Jednoduchost výroby			Dopad na životní prostředí		Cena
	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>80 min</sub> [%]	E [GPa]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Tváření	Spojování	Povrchové úpravy	CO <sub>2</sub> + emise	Likvidace výrobku	Hlubokotažná ocel = 1
DC04+Z	140	270	40	210	7850	8	9	9	7	9	1,0
Martenzitická ocel	700 – 1200	900 – 1400	5	210	7850	4	7	9	8	8,5	1,5
Borová ocel	950 – 1250	1300 –1800	5 – 8	210	7850	5	7	5	8	8,5	2,0
Hliník – 5xxx	110	240	23	70	2700	6	5	8	9	9	4,0
Hliník – 6xxx	240 – 310	275 – 350	24	70	2700	6	5	8	9	9	5,0
Hliníková pěna	22	30	2,6	6,3	600	6	5	8	9	9	6,0
Hořčík	160	240	7	45	1750	4	4	7	9,5	6	4,0
Titan	880	924	5	110	4500	6	5	7	9	6	60,0
Polymery	950	400 – 1800	< 2	40	1950	8	7	8	8	5	8,0
Kompozit – karbon	1100	1200 –2250	< 2	120 – 250	1600 – 1900	8	7	8	9	5	50,0 +

#### 4.1 Návrh 1 – boční protinárazová výztuha z pravoúhlého ocelového profilu

První varianta je zaměřena na docílení hmotnostních úspor při zachování téměř totožného materiálu, který je použit pro výrobu sériové protinárazové výztuhy. Vzhledem k faktu, že Youngův modul pružnosti  $E$  je u všech ocelí stejný, dojde ke ztrátě tuhosti jednotlivého komponentu, pokud v procesu návrhu snížíme tloušťku a ostatní parametry necháme nezměněné. Proto se tloušťka materiálu ponechala a úprava vychází ze změny technologie zpracování použitého materiálu. S tím souvisí i změna rozměrů a tvaru výztuhy. Boční protinárazová výztuha je nově složená ze tří částí. Dvojicí držáků v horní a dolní části a pravoúhlým profilem, který je na stranách zúžený. Výhodou použití této výztuhy je obdobná montáž, jako u sériové výztuhy. V tomto případě je díl přivařen sedmi bodovými svary k sestavě dveří svařených před jejím zalemováním s vnějším dílem dveří.

Řez A-A:



Obr. 20: Sestava dveří svařených s návrhem 1

### Použitý materiál a jeho vlastnosti

Docol 1200M – martenzitická ocel

Pevnost v tahu  $R_m$ : 1 200 – 1 400 MPa

Mez kluzu  $R_{p0,2}$ : 950 MPa

Tažnost  $A_{80}$ : 3 %

Hustota  $\rho$ : 7 850 kg/m<sup>3</sup>

E-modul: 210 000 MPa

Koeficient teplotní roztažnosti:  $12 \times 10^{-6}$  1/K

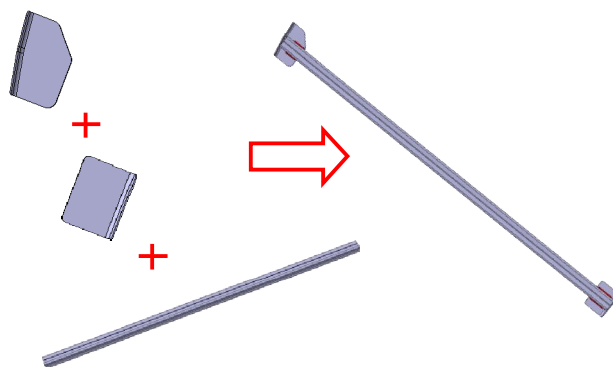
### Hmotnost výztuhy

Pro výpočty hmotností výztuh jsou použity hodnoty objemu jednotlivých součástí zjištěné z konkrétních modelových dat v programu Catia V5 Release 19. V tomto programu byly díly vytvořeny a uvedené objemy změřeny. Hustota materiálu  $\rho$  je hodnotou, která se uvádí v materiálových charakteristikách použitého materiálu.

Objem horního držáku:  $V_h = 8,204 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Objem dolního držáku:  $V_d = 6,601 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Objem profilu:  $V_p = 1,447 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$



Obr. 21: Návrh 1 – rozpad výztuhy

Hmotnost celé výztuhy:  $m_1 = (V_h + V_d + V_p) \cdot \rho$  [kg] (1)

$$m_1 = (8,204 \cdot 10^{-6} + 6,601 \cdot 10^{-6} + 1,447 \cdot 10^{-4}) \cdot 7850 = \underline{\underline{1,252 \text{ kg}}}$$

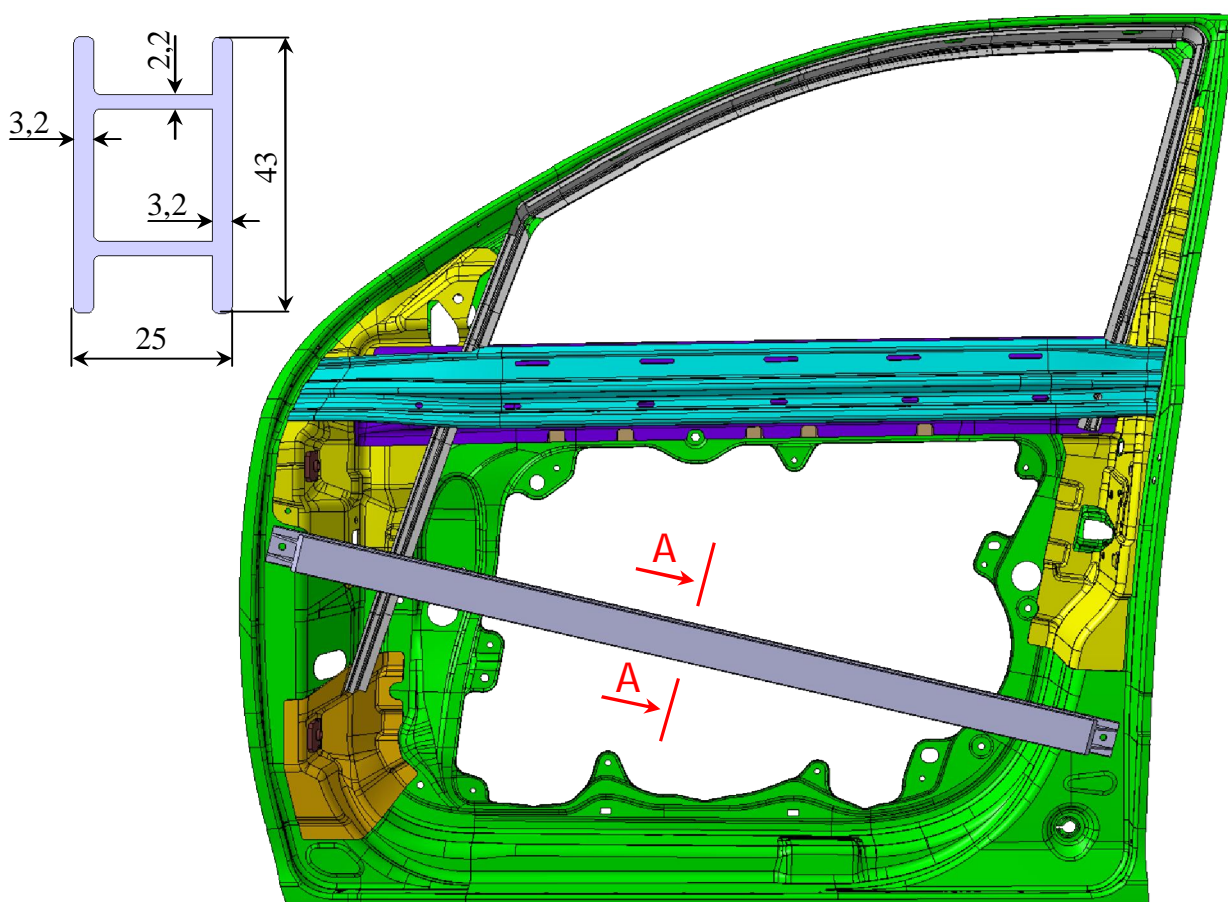
### Technologie výroby

Všechny operace probíhají na výrobní lince, kde je použita ocel v kontinuálním pásu přímo ze svitku. Profil je nejprve tvarován válcováním z rozvinutého tvaru a poté je válcováním uzavřen. Pro zvýšení tuhosti výztuhy je možné profil zpevnit přidáním svaru. Výhodou takto vyrobeného profilu je, že výztuha může být pohotově upravena pro několik různých modelových variant změnou průřezu a délky. K hornímu držáku je následně profil přivařen dvěma koutovými svary o délce 30 mm. Dolní držák je také připevněn pomocí dvou koutových svarů, ale o délce 40 mm.

## 4.2 Návrh 2 – boční protinárazová výztuha z dutého hliníkového profilu

Odlehčení stávající konstrukce předních bočních dveří vozu Škoda Octavia lze docílit především použitím lehčích materiálů, mezi které patří mimo jiné i hliník. K využití hliníkových slitin v automobilovém průmyslu přistupuje stále více výrobců vozidel. Analýza předních dveří konkurenčních vozů v této diplomové práci ukazuje, že i Peugeot u svého modelu 308 tento materiál pro protinárazovou výztuhu používá. Podobnou koncepci protinárazové výztuhy bočních dveří používají například i vozy značek Bentley a Audi. Tyto koncepce byly inspirací k vytvoření návrhu protinárazové výztuhy z dutého hliníkového profilu pro vůz SK 351, ač je Škoda nikdy nepoužila. Základní návrh včetně sestavy předních svařených dveří je na Obr. 22. Výhodou by mohlo být odpadnutí šesti bodových svarů, které však v základním návrhu nahradily dva šrouby montované přímo do výztuhy. Mezi další výhody patří velmi nízká hmotnost součásti, použitelnost pro obě strany vozu a bezproblémové nasazení pro další projekty (pouze jiná délka profilu výztuhy). Nevýhodou je vyšší cena vstupního materiálu.

Řez A-A:



Obr. 22: Sestava dveří svařených s návrhem 2

### Použitý materiál profilu

Standardně používané a nabízené spektrum hliníkových slitin na českém trhu dokumentuje tabulka Standardních slitin hliníku (Tab. 4). Slitiny se podle chemického složení a druhu tvářených výrobků rozdělují do řad, které jsou specifikovány normou ČSN EN 573-3.

Tab. 4: Standardní slitiny hliníku [12]

Slitina dle EN 573-3, AA	Eloxovatelnost*	Korozivzdornost	Třísková obrobiteľnosť	Svařitelnost**	Charakteristická pevnost (Mpa)	Příklady použití
1050	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	100	A, E
2007	♦ ♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦	370	B
2011	♦ ♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦	370	B
2015	♦ ♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦	370	B
2017	♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦	380	B, C
2024	♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦	♦	420	B, C
2030	♦ ♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦	370	B
5083	♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	270	B, E
5754	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	180	B, D, E
6005A	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	260	D, E, F
6023	♦ ♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦	280	B
6060	♦ ♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	220	C, E, F
6064A	♦ ♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦	280	B
6082	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	310	B, C, E, F
6262A	♦ ♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦	280	B
6023	♦ ♦ ♦	♦ ♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦	280	B
7022	♦ ♦	♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦	490	B, C, E, F
7075	♦ ♦	♦	♦ ♦ ♦ ♦	♦ ♦	510	B, C, E, F

\* Technicky eloxovatelné jsou všechny slitiny

\*\* se speciálními postupy je možno svařovat i těžce svařitelné slitiny

#### Hodnocení vlastností

♦ ♦ ♦ ♦ ♦ velmi dobrá  
♦ ♦ ♦ ♦ ♦ dobrá  
♦ ♦ ♦ ♦ ♦ uspokojivá, ještě přijatelná  
♦ ♦ ♦ ♦ ♦ podměnečná  
♦ ♦ ♦ ♦ ♦ špatná

A elektrotechnika  
B strojní součásti vhodné k obrábění  
C konstrukce, stavebnictví  
D stavba lodí  
E tváření za tepla a za studena (kování)  
F všeobecné použití

Ze standardně nabízených slitin hliníku (Tab. 4) je nejvhodnější pro protinázorovou výztuhu bočních dveří slitina s označením EN AW 6082. Tato hliníková slitina je vytvořena kombinováním čistého hliníku s křemíkem, hořčíkem a manganem. Součásti vyráběné ze slitin hliníku řady 6xxx, jsou vynikající pro své mechanické a chemické vlastnosti. Především pro dobrou tvářitelnost, schopnost výroby různých tvarů, zvýšenou pevnost, lehkost, vysokou korozivzdornost, schopnost povrchových úprav, svařitelnost, obrobiteľnosť a v neposlední řadě i nehořlavost a recyklovatelnost. V případě, že se hliník dostane do ohně, pak se z něj neuvolňují žádné toxické látky.



### Vlastnosti použitého materiálu

EN AW 6082 – hliníková slitina, která obsahuje hlavní slitinové prvky hořčík a křemík

Pevnost v tahu  $R_m$ : 275 – 350 MPa

Mez kluzu  $R_{p0,2}$ : 240 – 310 MPa

Tažnost při přetržení: 20 – 25 %

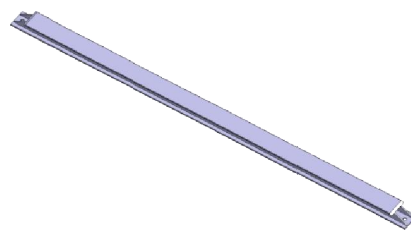
Hustota  $\rho$ : 2 700 kg/m<sup>3</sup>

E-modul: ~ 70 000 MPa

Koeficient teplotní roztažnosti: 23,4 x 10<sup>-6</sup> 1/K

### Hmotnost výztuhy

Objem výztuhy:  $V_p = 3,471 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$



Obr. 23: Návrh 2 – výztuha

Hmotnost celé výztuhy:  $m_2 = V_p \cdot \rho$  [kg] (2)

$$m_2 = 3,471 \cdot 10^{-4} \cdot 2700 = \underline{\underline{0,937 \text{ kg}}}$$

### Technologie výroby

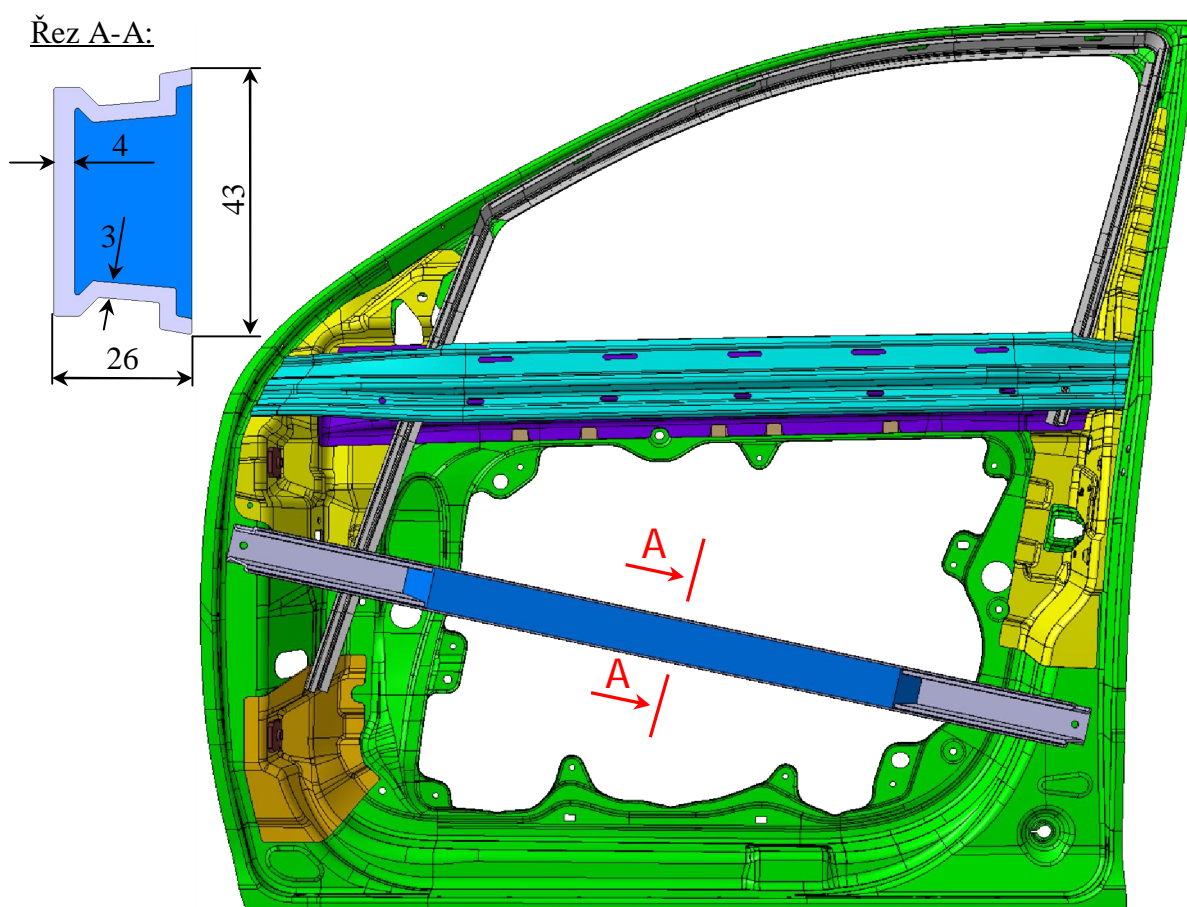
Uzavřený profil tvořící protinárazovou výztuhu je vyroben průtlačným lisováním za tepla. Jedná se o vysoce produktivní způsob výroby hliníkových profilů. Působením tlakových sil, které vyvolávají tříosý stav napětí, dochází k tváření materiálu. Jednou z nejdůležitějších součástí tohoto tvářecího procesu je nástroj, který tvoří konečný tvar výlisku. Nástrojem pro průtlačné lisování hliníkových slitin je matrice. Tímto výrobním procesem se vytvoří tzv. nekonečný profil, který je v průběhu výrobního procesu zakrácen na požadovanou délku vyráběné součásti.

### 4.3 Návrh 3 – boční protinárazová výztuha z otevřeného hliníkového profilu a hliníkové pěny

Základní myšlenkou návrhu je kombinace konvenčního materiálu jako je hliník s lehčeným materiálem. V tomto případě se jedná o použití otevřeného hliníkového profilu ve spojení s hliníkovou pěnou.

Hliník je zde použit především pro svou neobyčejně vysokou tuhost při nízké hustotě, houževnatost a dostatečnou korozní odolnost. Pěnový hliník je vysoce porézní materiál tvořený hliníkem vyplňujícím prostory mezi plynovými póry, přičemž tyto póry tvoří více než 60% jeho objemu. Díky své celulární struktuře jsou hliníkové pěny velice lehké materiály s neobyčejně vysokou tuhostí. Při jejich mechanickém zatížení se přenášena napětí optimálním způsobem rozloží v konstrukci, která je z nich vytvořena, přičemž nedochází k výraznému navýšení celkové hmotnosti součástí. [3] Tyto vlastnosti pěn zvyšují odolnost proti deformacím a lomům dutých kovových součástí, které jsou pěnou vyplněny. [4]

Výhodou použití této kombinace materiálů je nízká hmotnost, dobrá schopnost absorbovat nárazovou energii a jednoduchost montáže.



Obr. 24: Sestava dveří svařených s návrhem 3



### Použitý materiál profilu a jeho vlastnosti

EN AW 6082 – hliníková slitina, která obsahuje hlavní slitinové prvky hořčík a křemík

Pevnost v tahu  $R_m$ : 275 – 350 MPa

Mez kluzu  $R_{p0,2}$ : 240 – 310 MPa

Tažnost při přetržení: 20 – 25 %

Hustota  $\rho_p$ : 2 700 kg/m<sup>3</sup>

E-modul: ~ 70 000 MPa

Koeficient teplotní roztažnosti: 23,4 x 10<sup>-6</sup> 1/K

### Použitý materiál výztuže

Hliníková pěna na základě slitiny hliníku EN AW 6060. Hustota pěny byla stanovena ze závislosti deformací na zatěžující síle viz příloha č. 11.

Pevnost v tlaku  $R_m$ : 30 MPa

Mez kluzu  $R_{p0,2}$ : 22 MPa

Tažnost při přetržení: 2 – 5 %

Hustota  $\rho_v$ : 600 kg/m<sup>3</sup>

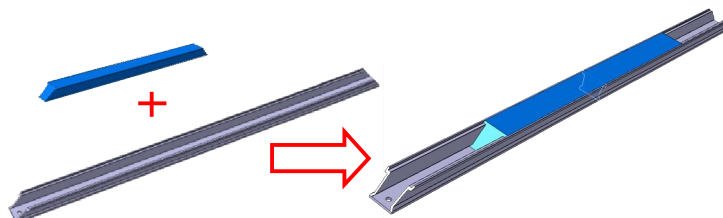
E-modul: ~ 4 500 MPa

Koeficient teplotní roztažnosti: 23,4 x 10<sup>-6</sup> 1/K

### Hmotnost výztuhy

Objem výztuže:  $V_v = 4,195 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

Objem profilu:  $V_p = 3,401 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$



Obr. 25: Návrh 3 – rozpad výztuhy

Hmotnost celé výztuhy:  $m_3 = (V_v \cdot \rho_v) + (V_p \cdot \rho_p)$  [kg] (3)

$$m_3 = (4,195 \cdot 10^{-4} \cdot 600) + (3,401 \cdot 10^{-4} \cdot 2700) = \underline{\underline{1,170 \text{ kg}}}$$

### Technologie výroby

Profil tvořící nosnou část protinářazové výztuhy je vyroben průtlačným lisováním za tepla. Tento postup výroby byl již popsán u předešlého návrhu.

Hliníkový profil je pak v místě požadovaného vyztužení vyplněn hliníkovou pěnou nízkotlakým odléváním. Nízkotlaké odlití výplně spočívá v roztavení zpěnitelného polotovaru v dutině vypěňovacího kontejneru a následném vtlačení expandované pěny do dutiny profilu.

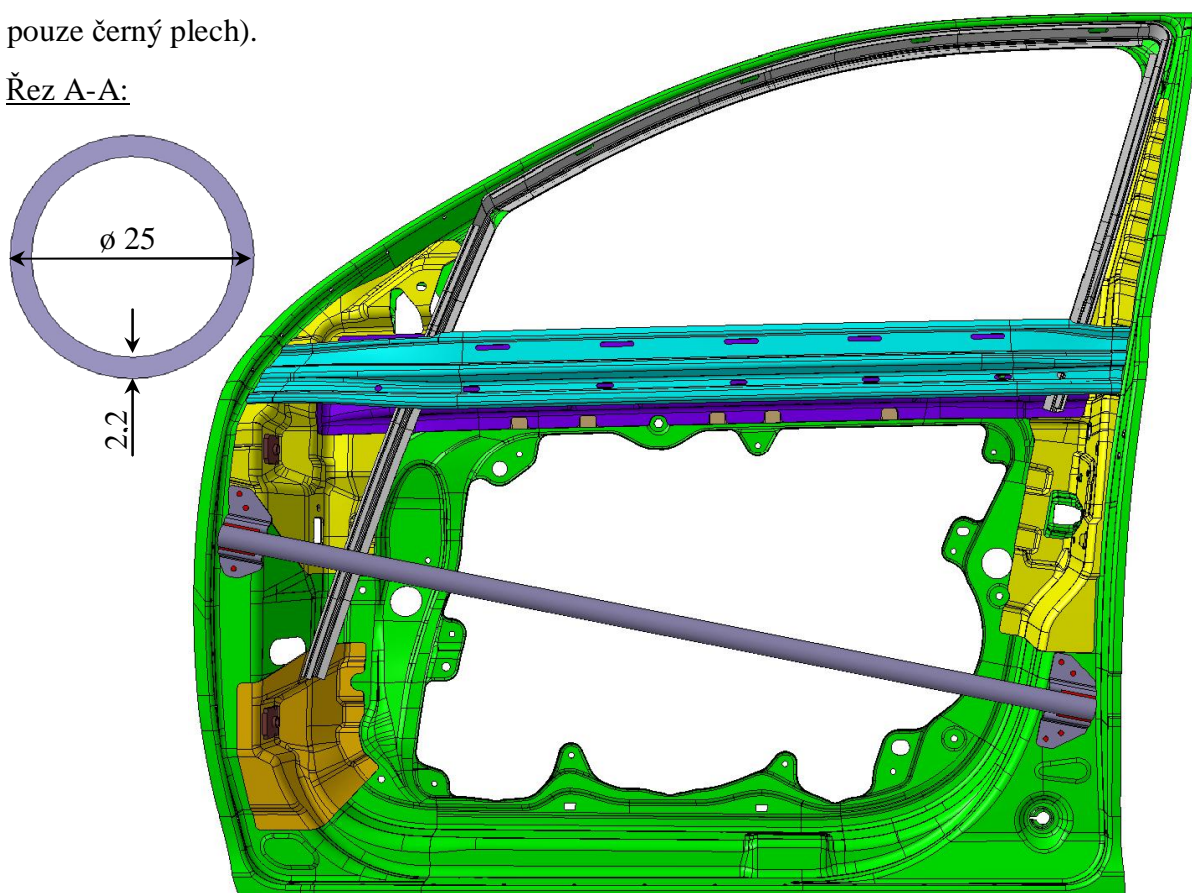
#### 4.4 Návrh 4 – boční protinárazová výztuha z trubkového ocelového profilu

Základem posledního návrhu protinárazové výztuhy je trubka vyrobená z oceli dosahující vysoké pevnosti díky specifickému tepelnému zpracování v průběhu procesu formování. Pro tento účel je zde použita vysokopevnostní ocel legovaná borem a manganem s označením BTR 165. Pod tímto obchodním označením je manganoborová ocel v nabídce od výrobce Benteler. Na trhu je však možné tyto ocele najít i pod obchodním označením Usibor 1500P od výrobce Arcelor nebo MBW 1500 od výrobce Thyssen-Krupp Steel. Zvolený průměr trubky je 25 mm s tloušťkou stěny 2,2 mm.

Aby mohla být trubka upevněna do sestavy předních bočních dveří svařených, je z obou stran zakončena držáky ze shodného materiálu, ale o tloušťce 1,5 mm, které jsou k trubce přivařeny. Svařenec trubkové protinárazové výztuhy je k sestavě dveří svařených přivařen 7 bodovými svary z nichž jeden je provázán s výztuhou horního závěsu dveří.

Výhodou použití tohoto návrhu je obdoba montáže výztuhy jako u sériového provedení. Nevýhodou je náchylnost použitého materiálu ke vzniku koroze. Tento materiál je vzhledem k okujím vzniklým při procesu výroby dodáván bez povrchové úpravy (tzn. pouze černý plech).

Řez A-A:

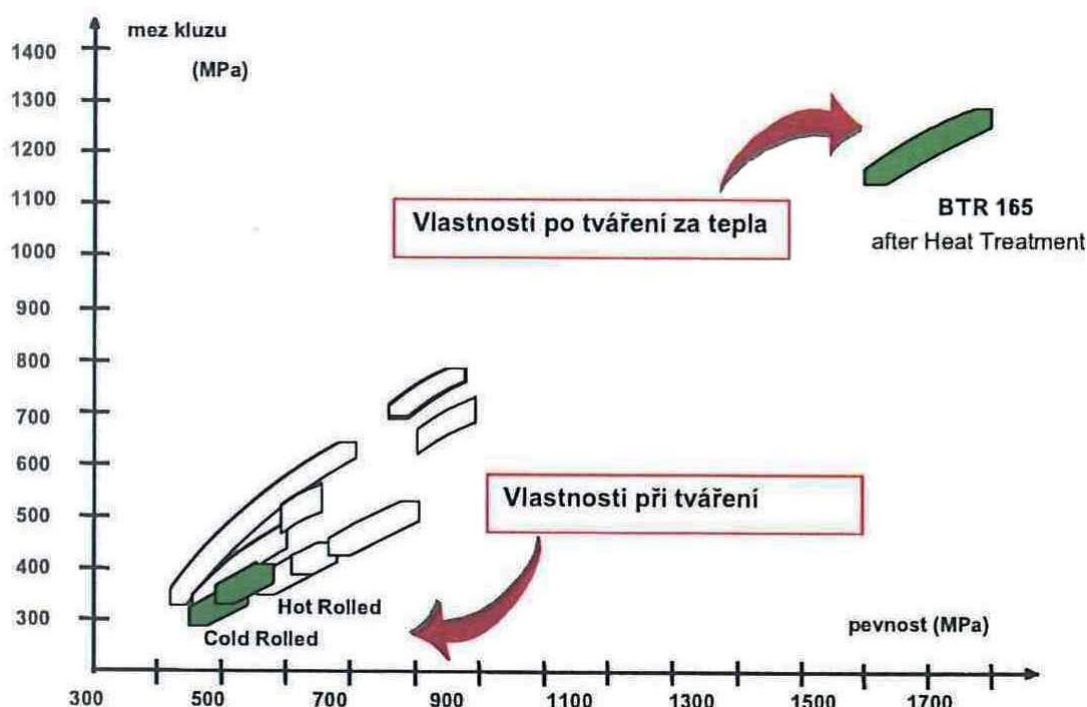


Obr.26: Sestava dveří svařených s návrhem 4

### Použitý materiál profilu a jeho vlastnosti

BTR 165 – vysokopevnostní manganoborová ocel

Technickou specifikaci materiálu BTR 165 a jeho výroby určuje předpis TL 4225.



Obr. 27: Vlastnosti materiálu BTR 165 při tváření a po tváření

Jak je vidět z grafu na Obr. 27, manganoborová ocel BTR 165 má výborné předpoklady k tváření v nevytvrzeném stavu. Tzn. že je tvárný při zpracování. Po tváření za tepla a kalení BTR 165 vykazuje vysokou pevnost a tvrdost.

Vlastnosti materiálu jsou uvedené pro materiál v plně vytvrzeném stavu:

Pevnost v tahu  $R_m$ : 1 400 – 1 900 MPa

Mez kluzu  $R_{p0,2}$ : 1 100 – 1 400 MPa

Tažnost při přetržení: 6 – 8 %

Hustota  $\rho$ : 7 850 kg/m<sup>3</sup>

E-modul: 210 000 MPa

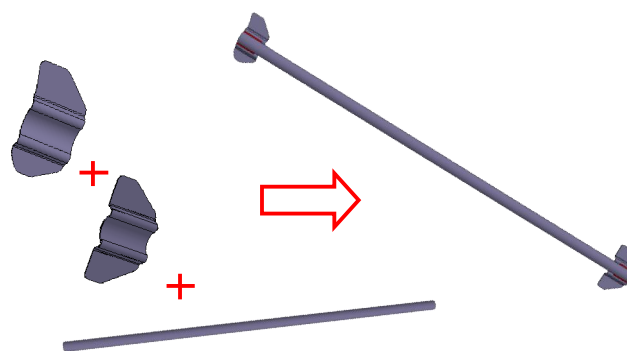
Koeficient teplotní roztažnosti:  $12 \times 10^{-6}$  1/K

### Hmotnost výztuhy

Objem horního držáku:  $V_h = 8,475 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Objem dolního držáku  $V_d = 9,638 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Objem profilu:  $V_p = 1,587 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$



Obr. 28: Návrh 4 – rozpad výztuhy

Hmotnost celé výztuhy:  $m_4 = (V_h + V_d + V_p) \cdot \rho$  [kg] (4)

$$m_4 = (8,475 \cdot 10^{-6} + 9,638 \cdot 10^{-6} + 1,587 \cdot 10^{-4}) \cdot 7850 = \underline{\underline{1,388 \text{ kg}}}$$

### Technologie výroby

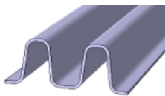
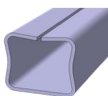
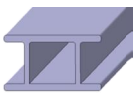
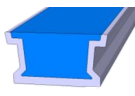

Hlavní částí protinázorové výztuhy je trubka, která je vyrobena válcováním a zavařením vzniklého švu. Následuje indukční ohřev na austenitizační teplotu 930°C až 1 050°C s následným kalením do vody minimální rychlostí 30°C/s až dojde k úplnému vytvoření martenzitické struktury. [14]

Oba držáky jsou vyráběny technologií kalení lisováním, při které se před kalením tvaruje austenitická struktura a teprve tvarováním za tepla se zakalí. K tomuto vytvrzujícímu procesu dochází v uzavřeném studeném nástroji při kontaktu studeného povrchu nástroje s horkým povrchem tvarovaného dílu. [18]

Po výrobě jednotlivých částí se výztuha svaří čtyřmi koutovými svary o délce 40mm.

## 4.5 Celkové shrnutí návrhů

Tab. 5: Celkové shrnutí návrhů

					
	Původní	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3	Návrh 4
Materiál	MSW 1200	Docol 1200M	AW 6082	AW 6082 + Pěna AW 6060	BTR 165
Tloušťka stěny [mm]	1,5	1,5	3,2	3	2,2
Výška profilu [mm]	28,5	25,5	25	26	ø 25
Počet dílů v sestavě [ks]	12	14	14	14	14
Hmotnost výztuhy [kg]	1,536	1,252	0,937	1,170	1,388

## 5 Výběr optimálního řešení

Výše popsané varianty návrhů jsou posuzovány vzhledem ke splnění jednotlivých návrhových metod (kritérií) pro vytvoření nových konstrukčních řešení tzv. DFX metod. Základem pro posouzení je sériově používané řešení. K výběru neoptimálnějšího a nejvhodnějšího řešení ze čtyř nově navržených variant se použila metoda vícekritériálního rozhodování. Každé navrhované kritérium je ohodnoceno relativní váhou důležitosti a variantám jsou přiděleny body v rozmezí 0 až 5 bodů vzhledem ke splnění posuzovaného kritéria. S 0 body je ohodnocena varianta neplnící požadavek a naopak 5 bodů získala varianta, která hodnocený požadavek plní v maximálním požadovaném rozsahu.

### Posouzení návrhů z hlediska hmotnosti

Úspora hmotnosti je zde nejdůležitějším kritériem a proto jí je přiřazena nejvyšší váha důležitosti – 20%. Obodování návrhů je zvoleno podle následujícího klíče:

Počet bodů	Hmotnost výztuhy [kg]
0	1,4 – více
1	1,3 – 1,399
2	1,2 – 1,299
3	1,1 – 1,199
4	1,0 – 1,099
5	méně než 1,0

	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3	Návrh 4
Počet získaných bodů	2	5	3	1

### Posouzení návrhů z hlediska montáže – DFA

Pro porovnávání jednotlivých variant návrhů předních bočních dveří z hlediska pracnosti se přepočítají všechny spoje v sestavě na ekvivalentní počet svarových bodů dle kritérií koncernu VW. Váha důležitosti zvolena 15%.

- Kritéria:
- počet dílů
  - počet podsestav
  - počet svarových bodů
  - počet „bradavkových“ svarů
  - počet clinch popř. jiných spojů
  - délka lepených spojů – pevnostních, těsnících, protihlukových

Tab. 6: Posouzení návrhů z hlediska montáže - DFA

Návrhy		Série	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3	Návrh 4	Hodnoty přepočtu na svar. body
Svarové body [ks]		69	70	63	63	70	x1
Navařovací [ks]	šrouby						x1,5
	matice						
Nýty [ks]							x3
Clinch [ks]							x1,5
Falc [m]		6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	x14
Laserové svařování [m]		0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	x78
Laserové pájení [m]							x74
Pájení [m]							x140
CO2 [m]		0,06	0,2	0,06	0,06	0,22	x78
Lepení [m]	pevnostní	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	x14
	epoxid	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	
	těsnící	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	
	jemný						
Šroubový spoj [ks]				2	2		x3
Maticový spoj [ks]							x2
Ostatní spoje [ks]							
Počet podsestav		4	5	4	4	5	
Počet dílů		12	14	14	14	14	
Ekvivalentní počet svarových bodů		368,4	380,3	368,4	368,4	381,8	
Pořadí variant			3	1-2	1-2	4	
Počet získaných bodů			<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	

Návrh 4 vykazuje zhoršení všech sledovaných parametrů (počet podsestav, počet dílů v sestavě a ekvivalentní počet svarových bodů) a proto získala pouze 1 bod. U návrhu 1 došlo také ke zhoršení všech sledovaných parametrů. Díky ekvivalentnímu počtu svarových bodů, který nebyl nejhorší, dostává návrh 1 v bodovém ohodnocení 2 body. V porovnání se sériovým řešením došlo ke zhoršení počtu dílů v sestavě i u návrhů 2 a 3, proto nejlepší ohodnocení nebylo uděleno. Vzhledem k tomu, že výztuhu z návrhu 2 a 3 lze použít ve shodném provedení na levou i pravou stranu dveří automobilu a tudíž by došlo ke snížení počtu dílů okované karoserie na vozidlo, byl návrh 2 a 3 ohodnocen 4 body.

#### Posouzení návrhů z hlediska demontáže – DFD

V sériové sestavě svařených dveří jsou spoje připevňující protinárazovou výztuhu nerozebíratelné, a proto není demontáž výztuhy možná stejně tak jako u návrhu 1 a 4. Návrh 1 a 4 v tomto srovnání získaly 0 bodů. Naproti tomu návrhy výztuhy 2 a 3 je možné demontovat a proto získávají 5 bodů. Váha důležitosti je 5%.

#### Posouzení návrhů z hlediska životního prostředí – DFE

Otázka recyklovatelnosti zvoleného materiálu a dopad výroby součástí na životní prostředí byl již zohledněn při volbě materiálu jednotlivých variant (Tab. 3). Ale z hlediska recyklovatelnosti součástí v souvislosti s celou sestavou dveří svařených na konci jejich životního cyklu se hodnotí až teď. Při spojování součástí je použito lepidlo a jiné tlumící hmoty, které jdou separovat pouze z demontovaných součástí. Toto kritérium splňují pouze návrhy 2 a 3, a proto jsou ohodnoceny plným počtem 5 bodů, zatím co návrhy 1 a 4 u tohoto kritéria nezískaly žádný bod. Váha důležitosti tohoto kritéria 5%.

#### Posouzení návrhů z hlediska výrobních nákladů

Velkou část výrobních nákladů tvoří ceny materiálu, ze kterých je součást vyrobena. Další části tvoří náklady na výrobní proces a náklady spojené s dodáním výrobku na montáž. Vzhledem k tomu, že se jedná o díl, který bude dodáván na montáž od externího dodavatele, je konečná cena dílu závislá i na počtu dodávaných kusů a zároveň na zvolené technologii výroby. Zavedením totožného dílu popř. částí dílů, shodných profilů atd. pro obě strany vozidla nebo pro jiný typ vozidla (modulový díl), může dojít k výraznému snížení nákladů na výrobu součástí. Z Tab. 3 je zřejmé, že nejvyšší náklady na materiál jsou pro návrh 3 a 2. Naproti tomu je nejlevnější materiál použit u návrhu 1 a vzhledem k procesu výroby je tento návrh ohodnocen 4 body. Nebyl ohodnocen lépe, protože sériová protinárazová výztuha se vyrábí s nižšími náklady. S 3 body je vyhodnocen návrh 4. Následuje návrh 2, u kterého je použit dvojnásobně dražší materiál než u návrhu 1 a 4, ale z hlediska levnější výrobní technologie tento rozdíl není tak výrazný. Je proto ohodnocen 2 body. A nakonec je ohodnocen 1 bodem návrh 3, u kterého je k výrobě zapotřebí 2 různých nejdražších materiálů a dvou odlišných technologických procesů, z nichž o jednom se dá říct, že jde o speciální technologii. Váha důležitosti z tohoto hlediska 20%.

#### Posouzení návrhů z hlediska údržby a opravitelnosti – DFM/S

V případě, že dojde k poškození vnějšího dílu dveří, je téměř nemožná oprava se současným sériovým stavem dveří svařených. Demontáž výztuhy může přispět k uvolnění dveřního prostoru i v případech, kdy je třeba oprava okolních montovaných dílů, které jsou součástí bočních dveří. Demontáž výztuhy neumožňuje návrh 1 a 4 a proto při hodnocení tohoto hlediska nezískaly žádné body. Naopak návrh 2 a 3 získaly plný počet 5 bodů. Váha důležitosti je 10%.

#### Posouzení návrhů z hlediska odolnosti proti korozi

Odolnost proti korozi je do značné míry ovlivněna materiálem, ze kterého je součást vyrobena a povrchovou úpravou, kterou je součást opatřena. Protinárazová výztuha je umístěna ve vnitřním prostoru dveří. Tento dveřní prostor je nazýván mokrým právě proto, že veškeré součásti v něm umístěné jsou neustále vystaveny korozním vlivům. Korozní odolnosti vyhovují návrhy 1, 2 a 3. Návrh 4 je vzhledem k technologii výroby dodáván bez povrchové úpravy a je tedy z tohoto hlediska nevyhovující. Odolnost proti korozi má váhu důležitosti 5%. Korozní odolnost u návrhu 1, 2 a 3 je ohodnocen 5 body. Koroze součásti může mít špatný vliv na tuhost součásti a tím i na funkci, kterou má součást plnit po celou dobu svého životního cyklu. Návrh 4 proto získal 0 bodů.

#### Posouzení návrhů z hlediska dopravy a balení – DFTP

Doprava a skladnost dodávaného dílu se značným způsobem podílejí na konečné ceně součásti a proto je důležitost tohoto kritéria stanovena na 10%. V závislosti na tvaru a rozměrech jednotlivých návrhů je hodnocen návrh 2 a 3 plným počtem 5 bodů a zbylé návrhy 4 body.

#### Posouzení návrhů z hlediska přidané hodnoty pro zákazníka

Přidanou hodnotou pro zákazníka může být úspora paliva či komfort při zavírání a otvírání dveří. Z toho plyne závislost na hmotnosti součásti, a proto je bodové ohodnocení totožné s posuzováním hmotnostního hlediska. Váha důležitosti je 5%.

Tab. 7: Posouzení návrhů z hlediska přidané hodnoty pro zákazníka

	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3	Návrh 4
Počet získaných bodů	2	5	3	1



### Posouzení návrhů z hlediska hlučnosti

Hliník má výrazně lepší akustické vlastnosti než ocel. Tyto akustické vlastnosti jsou v případě návrhu 3 navíc umocněny použitím hliníkové pěny. Vyhodnocen je proto nejvyšším počtem 5 bodů právě návrh 3. Přiřazením 4 bodů je ohodnocen návrh 2 a zbývající dva návrhy 1 a 4 jsou obodovány 3 body. Váha důležitosti tohoto hlediska je 5%.

## **5.1 Shrnutí výběru optimálního řešení**

Závěrečné shrnutí a vyhodnocení vícekritériálního rozhodování je v tabulce 8, kde se jednotlivé relativní váhy kritérií vynásobily se získaným počtem bodů pro konkrétní návrhy. Poté se všechny součiny u jednotlivých návrhů sečetly.

Tab. 8: Tabulka výběru optimálního řešení

Kritérium	Relativní váha	Návrh 1		Návrh 2		Návrh 3		Návrh 4	
		body	součin	body	součin	body	součin	body	součin
Hmotnost	0,2	2	0,4	5	1	3	0,6	1	0,2
Montáž - DFA	0,15	2	0,3	4	0,6	4	0,6	1	0,15
Demontáž - DFD	0,05	0	0	5	0,25	5	0,25	0	0
Vliv na životní prostředí - DFE	0,05	0	0	5	0,25	5	0,25	0	0
Výrobní náklady	0,2	4	0,8	2	0,4	1	0,2	3	0,6
Údržba a opravitelnost - DFM/S	0,1	0	0	5	0,5	5	0,5	0	0
Odolnost proti korozi	0,05	5	0,25	5	0,25	5	0,25	0	0
Doprava a balení - DFTP	0,1	4	0,4	5	0,5	5	0,5	4	0,4
Přidaná hodnota pro zákazníka	0,05	2	0,1	5	0,25	3	0,15	1	0,05
Hlučnost	0,05	3	0,15	4	0,2	5	0,25	3	0,15
Celkem	1		2,4		4,2		3,55		1,55
Pořadí		<b>3</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>4</b>	

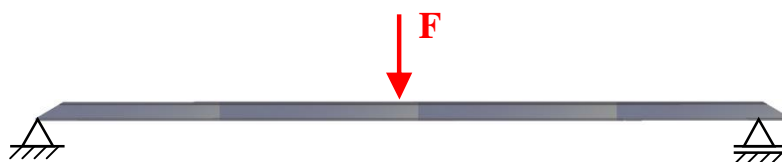
Na základě vícekritériálního hodnocení byl vybrán **Návrh 2 – boční protinárázová výztuha z dutého hliníkového profilu**. Následující části této diplomové práce budou zaměřeny na detailnější konstrukční řešení tohoto vítězného návrhu.

## 6 Kontrolní výpočty statické tuhosti vybraného návrhu

### 6.1 Výpočet ohybové tuhosti protinářazové výztuhy

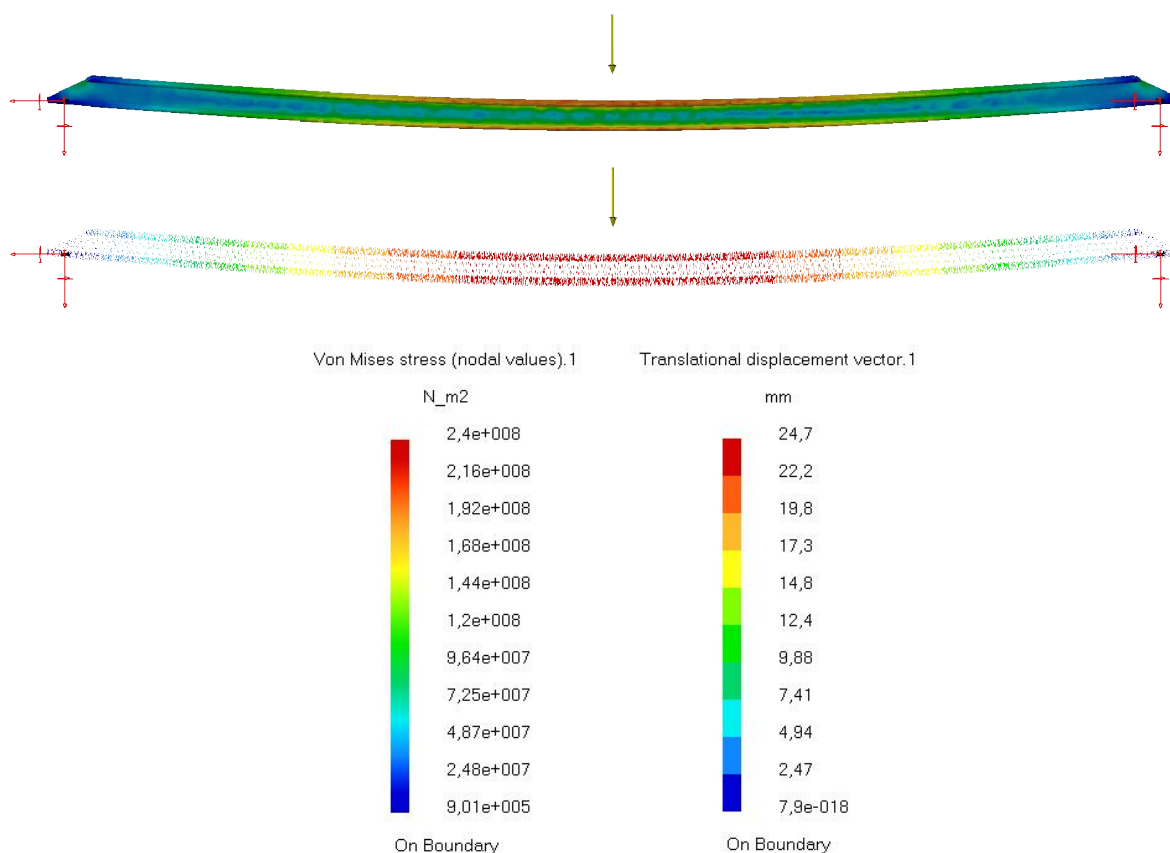
Pro zjištění ohybové tuhosti protinářazové výztuhy byl použit program Catia V5 Release 19 s nadstavbou Analysis. Simulace zatížení protinářazové výztuhy je znázorněna na Obr. 29. Jednalo se o simulaci ohybu nosníku uložené na dvou podporách a zatížené silou uprostřed.

Ohybová tuhost protinářazové výztuhy je požadována v rozmezí od 200 kN/m do 400 kN/m. Tato tuhost musí být splněna pro celou oblast lineární deformace nosníku.



Obr. 29: Schematické uspořádání simulace

Simulace průhybu protinářazové výztuhy při zatížení silou  $F = 5000$  N uprostřed:



Obr. 30: Výsledky simulace průhybu protinářazové výztuhy

### Výsledky simulace:

Maximální zatěžovací síla:  $F_{\max} = 5000 \text{ N}$

Maximální zjištěné napětí:  $\sigma_{\max} = 240 \text{ MPa}$

Plastická deformace:  $y_{\max} = 24,7 \text{ mm}$

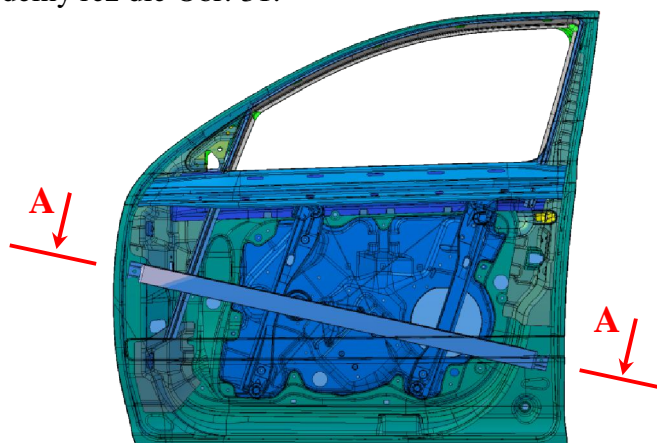
Výpočet tuhosti protinárazové výztuhy:

$$k = \frac{F}{y_{\max}} = \frac{5,0}{0,0247} = 202,4 \text{ kN/m} \quad (5)$$

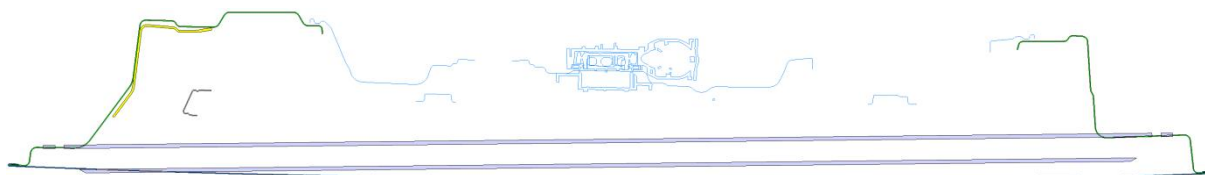
Zjištěná tuhost protinárazové výztuhy vyhovuje požadavku. Tuhost je však na spodní hranici daného intervalu. Vzhledem k základní bezpečnostní funkci protinárazové výztuhy je potřeba optimalizovat tvar výztuhy, aby se dosáhlo vyšší tuhosti v lineární oblasti deformace.

## **6.2 Analýza zástavbových možností protinárazové výztuhy**

Analýza zástavbových možností je přezkoumání vnitřního prostoru celé sestavy dveří včetně nosiče agregátu a agregátu. Pro tento účel byl sestavou dveří a protinárazovou výztuhou veden podélný řez dle Obr. 31.

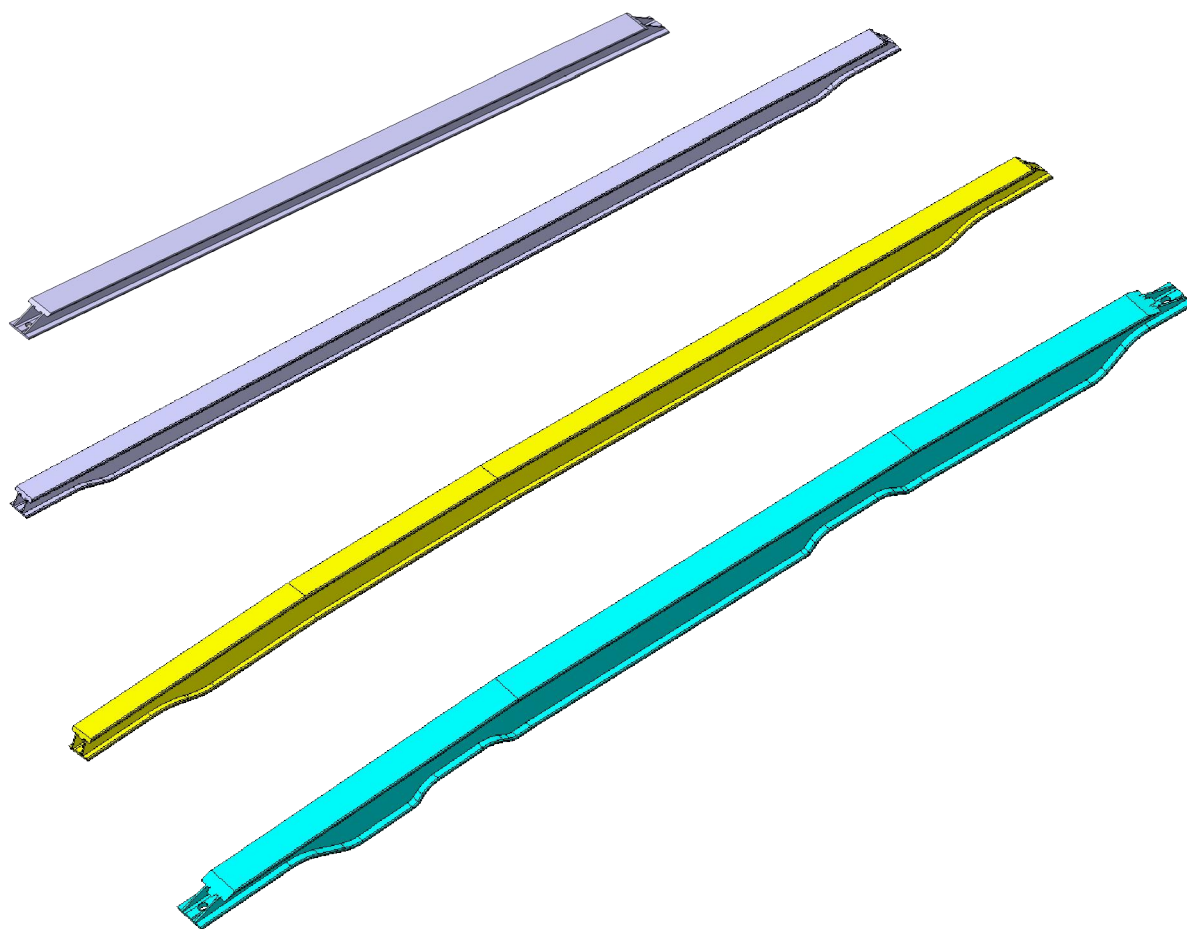


Řez A-A:



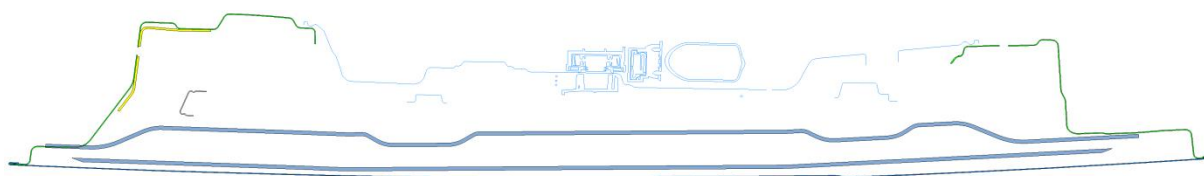
Obr. 31: Sestava a řez sestavou protinárazové výztuhy

Analýza zástavbového prostoru a možností zvýšení profilu protinárazové výztuhy prokázala, že k celkovému zvýšení profilu výztuhy nemůže dojít vzhledem k omezenému prostoru v oblasti horního upevnění výztuhy. Naproti tomu byl zjištěn potenciál k lokálním úpravám profilu. Upravením výšky profilu mimo místa kotvení protinárazové výztuhy může vést k požadovanému zvýšení tuhosti výztuhy. Podobným výsledkům může přispět i správné zahnutí profilu výztuhy. Tím dojde k přiblížení protinárazové výztuhy k vnějšímu dílu dveří a k vytvoření symetrické mezery mezi nimi. Provedení těchto kroků vedlo k postupným optimalizacím a úpravám tvarů, které jsou zobrazeny na Obr. 32.



Obr. 32: Postupné optimalizace tvaru protinárazové výztuhy

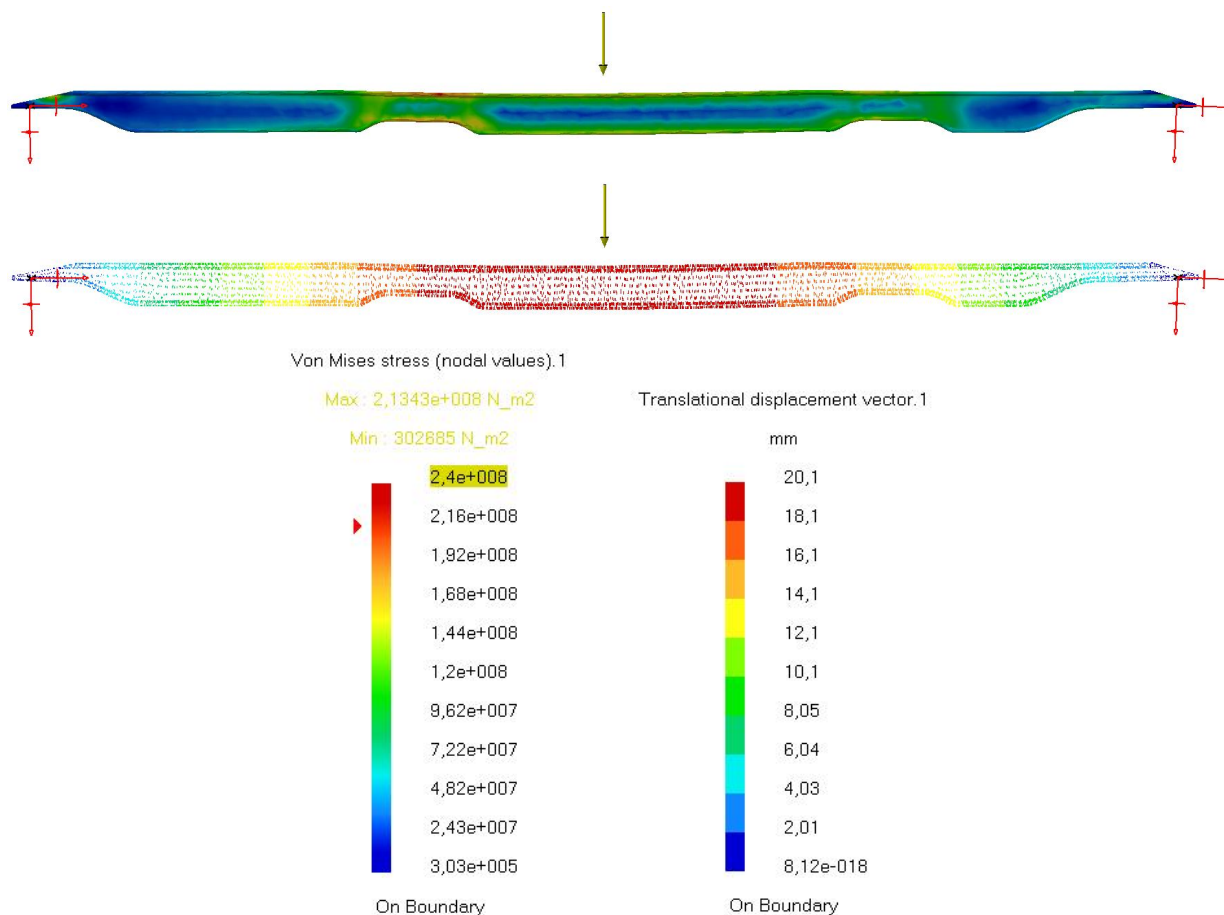
Podélný řez sestavou dveří s nově navrženým tvarem výztuhy je na Obr. 33.



Obr. 33: Řez sestavou dveří s optimalizovanou protinárazovou výztuhou

### 6.3 Výpočet ohybové tuhosti optimalizované protinárazové výztuhy

Simulace průhybu optimalizované protinárazové výztuhy při zatížení  $F = 5000 \text{ N}$  uprostřed:



Obr. 34: Výsledky simulace průhybu optimalizované protinárazové výztuhy

Výsledky simulace:

Maximální zatěžovací síla:  $F_{\max} = 5000 \text{ N}$

Maximální zjištěné napětí:  $\sigma_{\max} = 213,4 \text{ MPa}$

Plastická deformace:  $y_{\max} = 20,1 \text{ mm}$

Výpočet tuhosti protinárazové výztuhy:

$$k = \frac{F}{y_{\max}} = \frac{5,0}{0,0201} = 248,8 \text{ kN/m} \quad (6)$$

Vypočítaná tuhost optimalizované protinárazové výztuhy vyhovuje požadavku.

## **6.4 Kontrolní výpočty statických tuhostí předních bočních dveří**

Pro simulace zatížení celé sestavy předních bočních dveří svařených (viz kapitola 2.3), byly použity sofistikovanější nástroje pro FEM analýzy, které jsou v licenci Škoda Auto a.s. Pro generování sítě se použil program ANSA 14.0.1. Úloha se definovala v programu SOLVER Nastran a k vyhodnocení výsledků výpočtů byl použit Post Processor  $\mu$ ETA Post 14.0.2.

Tyto simulace pro vyhodnocení napětí a deformací byly provedeny v kooperaci s odborným oddělením TKF/1 Škody Auto a.s.

Simulací prověšení bočních dveří byla zjištěna maximální elastická deformace 7,8 mm při zatěžující síle  $F = 1000$  N. Rozložení napětí a deformací ze simulace prověšení jsou přílohami č. 12 a 17.

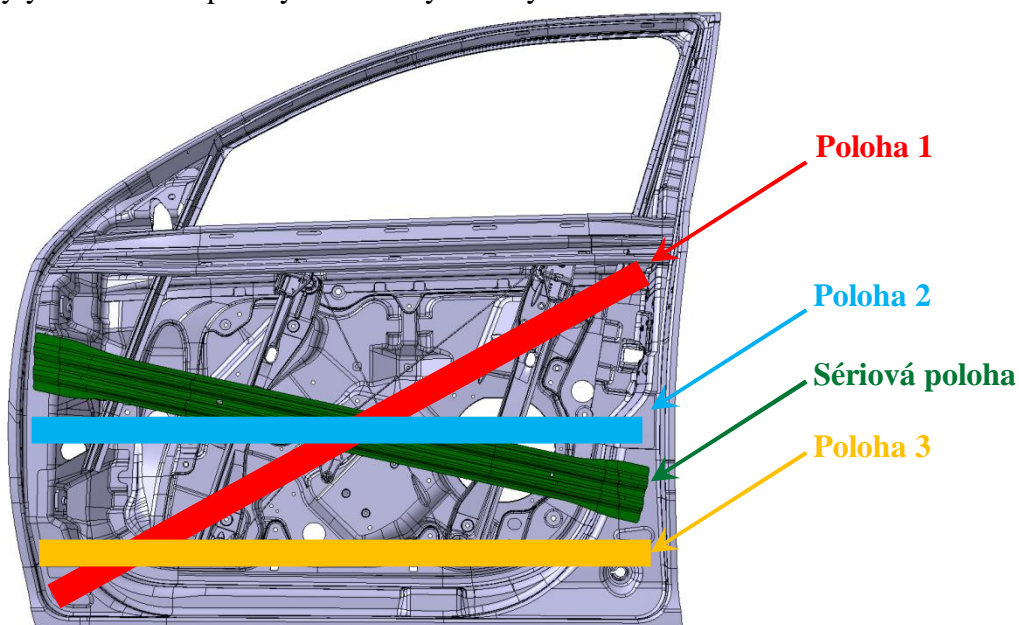
Při simulaci zatížení vnější okenní šachty silou  $F = 200$  N bylo docíleno maximální elastické deformace 0,97 mm. U zatížení vnitřní okenní šachty stejnou silou došlo k maximální elastické deformaci 0,85 mm. Rozložení napětí a deformací ze simulací zatížení vnější a vnitřní okenní šachty jsou přílohami č. 13, 14, 18 a 19.

Simulací zatížení rámu silou  $F = 400$  N byla zjištěna maximální elastická deformace středu rámu 6,0 mm a oblasti B-sloupku 5,9 mm. Výsledné rozložení napětí a deformací ze simulací zatížení středu rámu a oblasti B-sloupku jsou přílohami č. 15, 16, 20 a 21.

## 7 Konstrukční zpracování návrhu s protinárazovou výztuhou z dutého hliníkového profilu

### 7.1 Určení polohy protinárazové výztuhy

Pro snazší názornost zobrazení a popisu navrhovaných poloh protinárazové výztuhy se použil obrázek sestavy dveří svařených včetně nosiče agregátu stahování okna, do kterého byly navrhované polohy zakresleny odlišnými barvami.



Obr. 35: Navrhované polohy protinárazové výztuhy

Poloha 1 – Protinárazová výztuha uložená ze spodu nahoru napříč celými dveřmi zaručuje, obdobně jako v sériovém stavu, že je nejdelší variantou. Tato poloha výztuhy by však v případě bočního nárazu zapříčinila mnohem vyšší namáhání B-sloupku. Sloupek je pak namáhán ve svém středu s čímž by se při konstrukci B-sloupku muselo počítat.

Poloha 2 – Vodorovná poloha protinárazové výztuhy napříč dveřmi umožňuje dobrou ochranu řidiče a cestujících při bočním nárazu, ale vzniklé zatížení by také způsobilo nadměrné namáhání B-sloupku a muselo by následně dojít k jeho vyztužení.

Poloha 3 – Protinárazová výztuha umístěná ve spodní části dveří by zajistila volný mezidveří prostor, ale doplňovala by funkci prahu a neplnila by tak svou prioritní funkci, kterou je chránit řidiče a posádku vozidla při bočním nárazu.

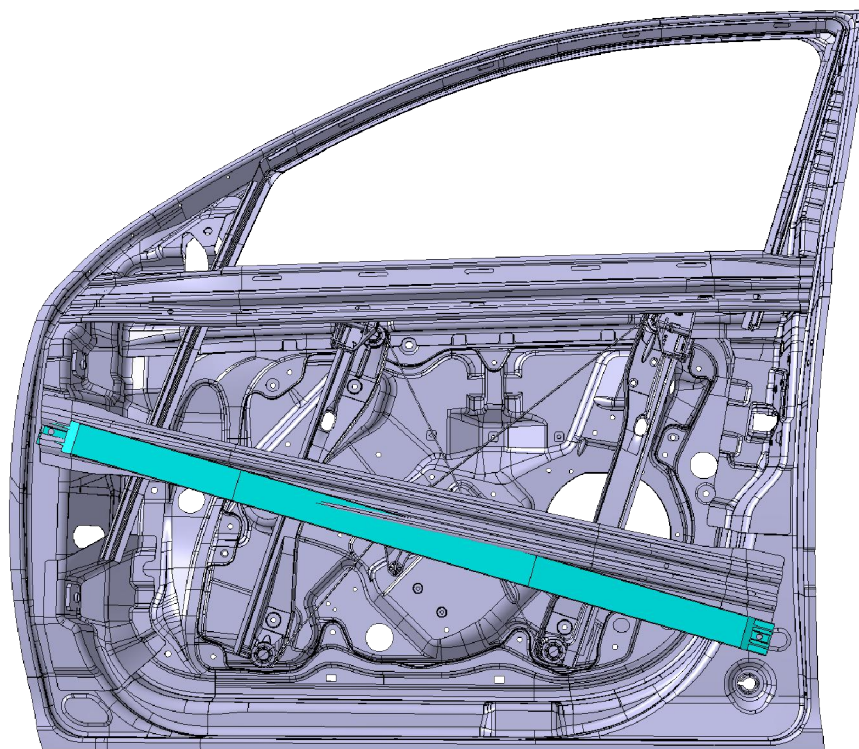


Sériová poloha – Protinárazová výztuha vedená ze shora dolu napříč dveřmi se v případě bočního nárazu opře o nejvíce vyztužená místa karoserie ve dveřní oblasti. V přední části dveří se výztuha opře v místě A-sloupku a v zadní části se výztuha opře o kořen B-sloupku v oblasti prahu.

Z analýzy čtyř různých poloh umístění protinárazové výztuhy v předních bočních dveřích je, v případě zachování stávající konstrukce dveří a karosérie, nejvhodnějším řešením sériový stav se změnou natočení výztuhy.

Sériová výztuha svou polohou překrývá motorek stahování oken a reproduktor audio soustavy. Toto překrytí by mohlo, v případě bočního nárazu, posádce vozidla způsobit zejména poranění stehna, kyčelní oblasti či pánve. S ohledem na minimalizaci kolize těchto dílů je dolní upevnění výztuhy posunuto směrem dolu tak, aby protinárazová výztuha tyto komponenty nepřekrývala. Nová poloha inovované protinárazové výztuhy je znázorněna na Obr. 36.

Minimální vzdálenost inovované výztuhy od vnějšího dílu dveří je 3,9 mm. Mezi okenním rámem a výztuhou je 10 mm. Od okolních pohybujících se dílů je výztuha vzdálena minimálně 9 mm.



Obr. 36: Nově navržená poloha protinárazové výztuhy



## 7.2 Volba připevnění protinárazové výztuhy s ohledem na montáž - DFA

Protinárazová výztuha je v sérii připevněna k vnitřnímu dílu dveří bodovými svary. U nového návrhu se však změnil materiál výztuhy. Hliníkový díl nelze přivařit k ocelovému dílu, a tudíž musí dojít i ke změně připevnění. V počátečním návrhu bylo počítáno s připevněním protinárazové výztuhy k vnějšímu dílu dveří šroubovým spojením. Existují však různá řešení šroubového spojení popř. i jiné možnosti spojení, které je třeba zanalyzovat a posoudit jejich použitelnost v souvislosti s tímto návrhem.

### Spojení lepením

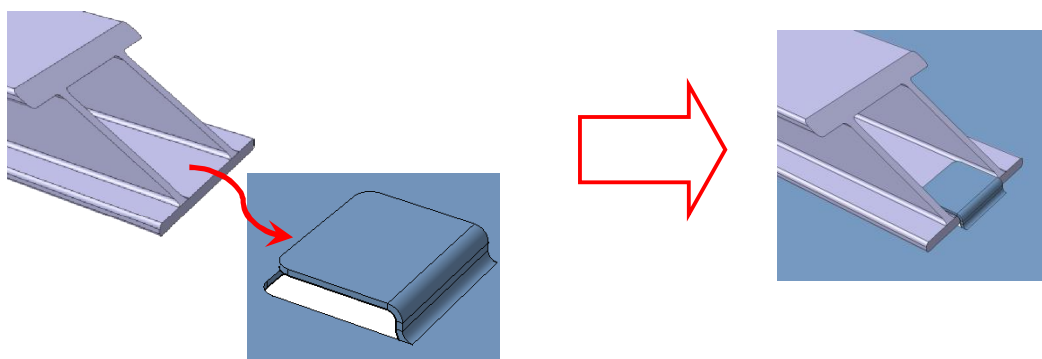
Jde o stále více používaný druh spojení dvou zdánlivě nespojitelných součástí z různorodých materiálů. Lepením lze dosáhnout vysoce pevného spojení, ale s tím souvisí i fakt, že toto spojení se pak stává téměř nerozebíratelným. Použitím lepeného spoje by došlo ke zhoršení recyklovatelnosti a separace jednotlivých materiálů. Spojení je náročné na čistotu spojovaných ploch obou součástí, což může vnášet značnou nejistotu s pevností spojení. Vzhledem k výše zmíněným faktům je použití lepeného spoje k připevnění hliníkové protinárazové výztuhy nevyhovující.

### Spojení trhacími nýty

Spojení dvou součástí trhacími nýty je vysoce produktivní a pevné spojení. Použitím trhacích nýtů při montáži se vytvoří spojení, které je obtížně demontovatelné. Náročnost demontáže připevněného dílu převyšuje jednoduchost montáže a proto je toto spojení také nevyhovující.

### Kombinace šroubového spojení se zásuvným spojením

V tomto případě by se jednalo o vytvoření prostřihu a následné vylisování části vnitřního dílu dveří (Obr. 37).



Obr. 37: Zásuvné spojení

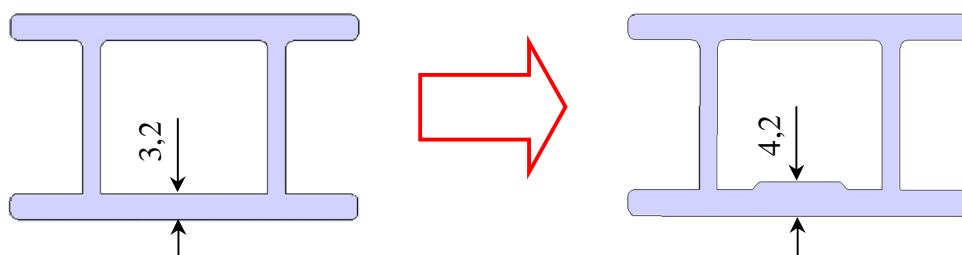
Do takto vytvořeného příchytu by se při montáži zasunula jedna strana výztuhy a poté by se výztuha na druhé straně přišroubovala. Vytvořením této kombinace různých typů spojení by došlo jak k úspoře času při montáži, tak i ke snížení celkového počtu dílů v sestavě dveří. Bohužel i toto spojení má jeden velmi vážný nedostatek, a to netěsnost. Jak už bylo zmíněno v předchozím textu, vnitřní díl dveří odděluje na bočních dveřích mokrého prostoru od suchého. Netěsnost vnitřního dílu dveří by měla za následek vodu ve vozidle a to je nepřijatelné. To je důvodem, proč i tato varianta musí být zavrhnuta.

### Šroubové spojení

Je to typ spojení, který jde utěsnit. Je rozebíratelné a dostatečně pevné, ale je poměrně složité na montáž. I tak je řešením, které bude použito pro připevnění protinárazové výztuhy z hliníkového profilu. Zbývá tedy zvolit typ šroubového spoje z následujících:

- šroub a závitové spony (navýšení počtu součástí v sestavě, složitá montáž)
- nalisováním závitové vložky do otvorů na výztuze
- šroub a nýťovací matice (navýšení počtu součástí v sestavě)
- vytvoření žebra pro závitové otvory (pro možnost zašroubování šroubu)

Řešením, které nebude mít za následek navýšení počtu součástí v sestavě a tím i navýšení montážních časů, je vytvoření žebra pro závitové otvory (viz Obr. 38). Žebro bude součástí vyráběného profilu, čímž výrobu zvláštním způsobem neovlivní.



Obr. 38: Vytvoření žebra pro závitové otvory

Samozřejmostí je nutnost ověření výšky žebra zkouškami utahovacích momentů.

Výsledná hmotnost celé výztuhy pak je:

Objem upraveného profilu:  $V_u = 3,454 \cdot 10^{-4}$

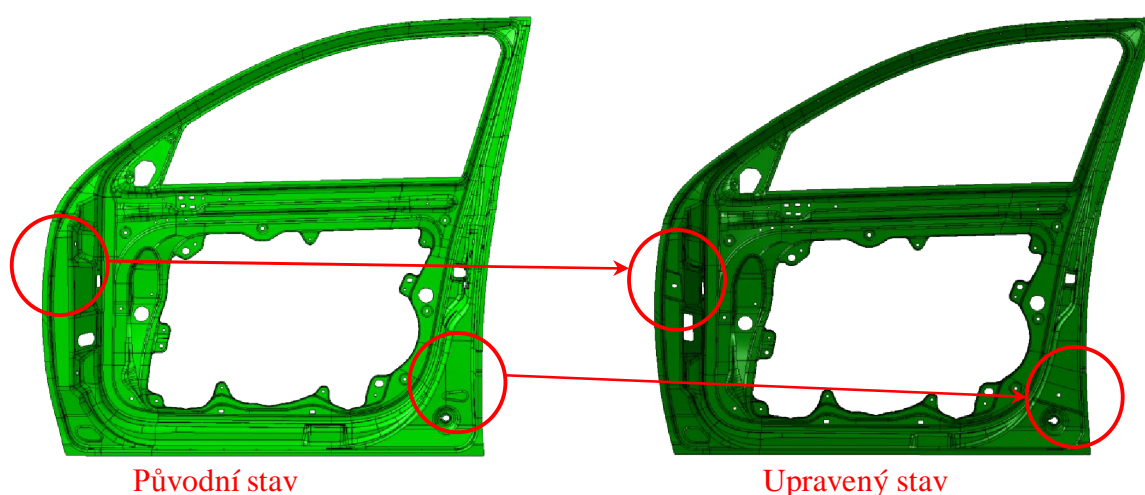
$$m = V_u \cdot \rho = 3,454 \cdot 10^{-4} \cdot 2700 = \underline{\underline{1,014 \text{ kg}}} \quad (7)$$

### 7.3 Návrh montáže protinárazové výztuhy

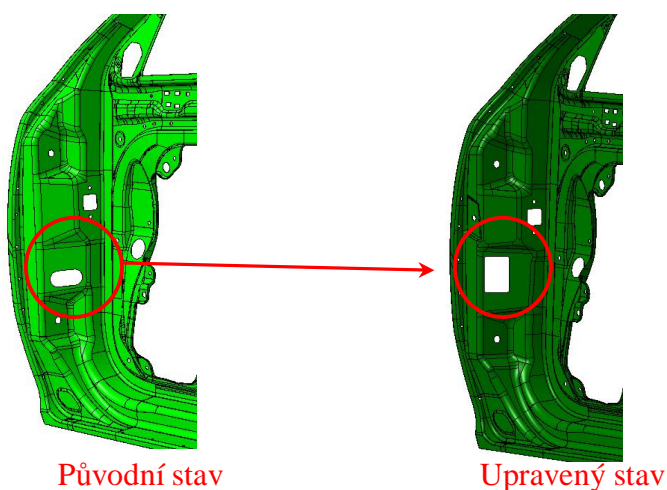
Původní ocelová protinárazová výztuha byla součástí montážního procesu ve svařovně. Nová protinárazová výztuha se bude montovat na lince spolu s ostatními díly dveří. Aby byla montáž možná, musí dojít k úpravám vnitřního dílu dveří a rámu, které neovlivní jejich funkci.

#### Úprava vnitřního dílu dveří

Na vnitřním dílu dveří proběhly dvě změny. Jedna se týkala úpravy dosedacích ploch a vytvoření otvorů pro upevnění nové protinárazové výztuhy (Obr. 39). Druhou změnou se zvětšil otvor v přední části dílu, který slouží pro vedení elektrické instalace. Tímto otvorem se prostrčí výztuha do mezidvevního prostoru (Obr. 40).



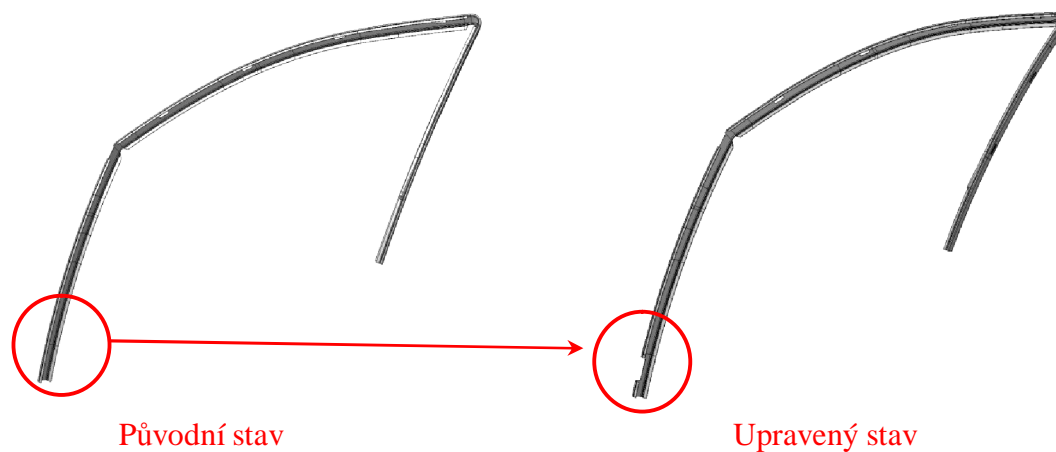
Obr. 39: Úprava dosedacích ploch



Obr. 40: Vytvoření montážního otvoru

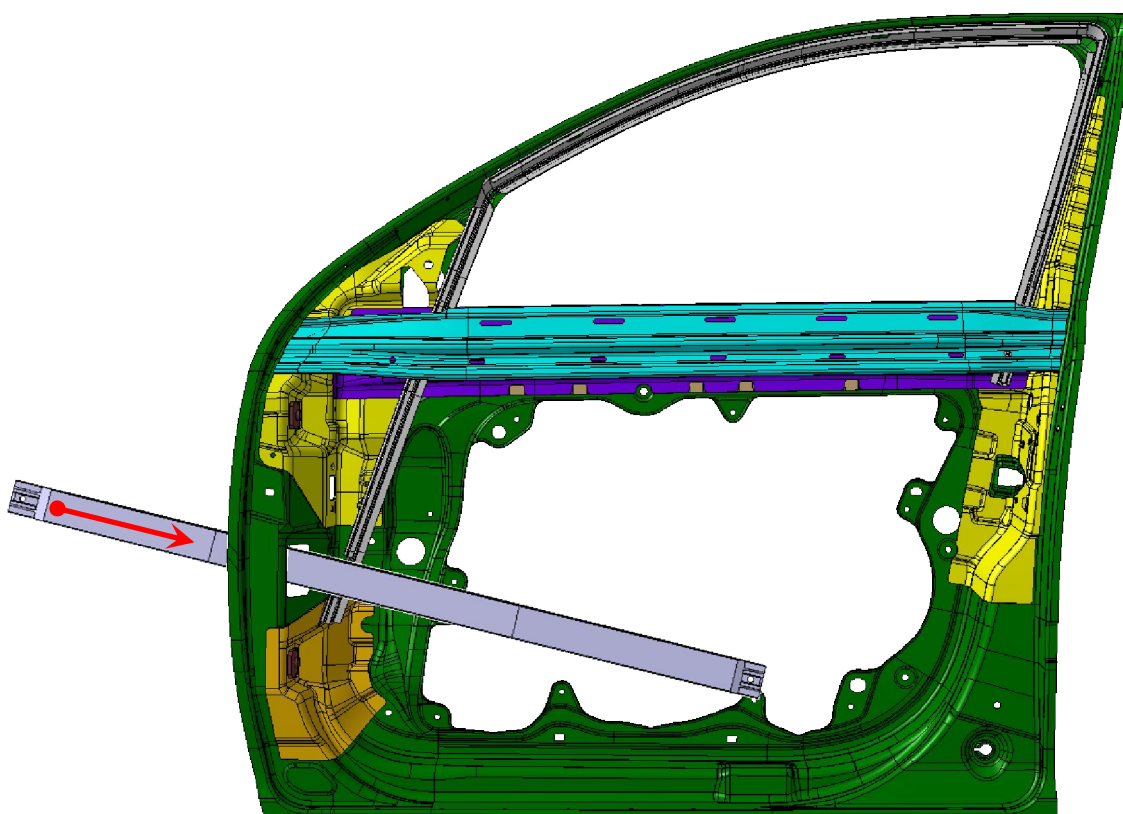
## Úprava rámu

Aby bylo možné zasunout protinárazovou výztuhu do mezidvevního prostoru, muselo dojít k úpravě rámu (viz Obr. 41).



Obr. 41: Úprava rámu

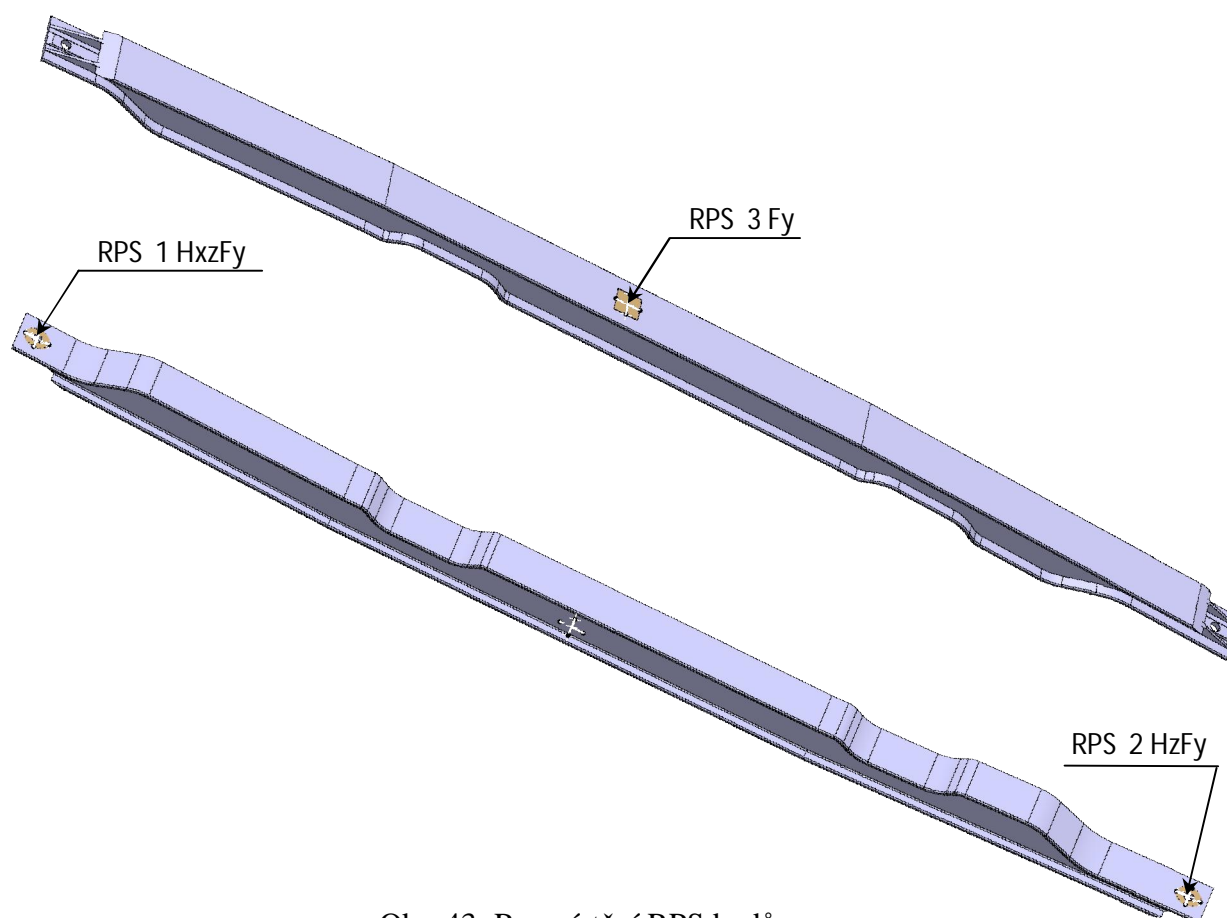
Montáž protinárazové výztuhy je naznačena na Obr. 42.



Obr. 42: Montáž protinárazové výztuhy

## 7.4 Návrh protinárazové výztuhy z hlediska testování a kontroly – DFT/I

Systém RPS bodů slouží k přesnému měření a kontrole rozměrů součástí v souřadnicovém systému vozidla. Pomocí RPS bodů se jednoznačně definuje prostorová pozice dílu ve vozidle. Počet RPS bodů a jejich poloha je zvolena tak, aby součást v prostoru jasným způsobem fixovaly a definovaly. Použito bylo pravidlo 3 – 2 – 1, kterým se vymezilo všech 6 stupňů volnosti součásti v prostoru.



Obr. 43: Rozmístění RPS bodů

Tab. 9: Tabulka rozmístění RPS bodů

Pole	RPS	Globální souřadnice			Typ opěrné ploch	Referenční bod: x: 436,4 y: -843,5 z: 439,4					
	Název bodu	x	y	z		Natočení souř. systému kolem osy: x: y: z:					
						Nominální rozměry			Tolerance		
						AE x/a	AE y/b	AE z/c	x/a	y/a	z/a
	1 HxzFy	436,4	-843,5	439,4	Díra M8	0	0	0	0	-	0
	-	-	-	-	Plocha ø 20	0	0	0	±1	0	±1
	2 HzFy	1370,3	-834,5	187,6	Díra M8	933,9	9,0	-251,8	-	-	0
	-	-	-	-	Plocha ø 20	933,9	9,0	-251,8	±1	0	±1
	3 Fv	880,5	-866,4	319,7	Plocha 20 x 20	444,1	-22,9	119,7	±1	0	±1

## 7.5 FMEA

FMEA je anglická zkratka pro analýzu možných způsobů a důsledků závad v počáteční fázi návrhu výrobku. Analýzou se vždy zabývá celý tým odborníků a konstruktérů podílejících se na vývoji výrobku. Analýza probíhá ve čtyřech etapách. Analýza současného stavu, hodnocení současného stavu, návrh preventivních opatření a hodnocení stavu po provedení preventivních opatřeních.

Před další etapou vývoje inovované protinárazové výztuhy je třeba prověřit, jestli je nové řešení schopné plnit předpokládanou funkci a zda je výrobek schopen svou funkci plnit po celou dobu své životnosti. V této souvislosti byla provedena konstrukční FMEA inovované protinárazové výztuhy bočních dveří. Všichni účastníci byli ze Škody Auto a.s.

Tab. 10: Formulář FMEA

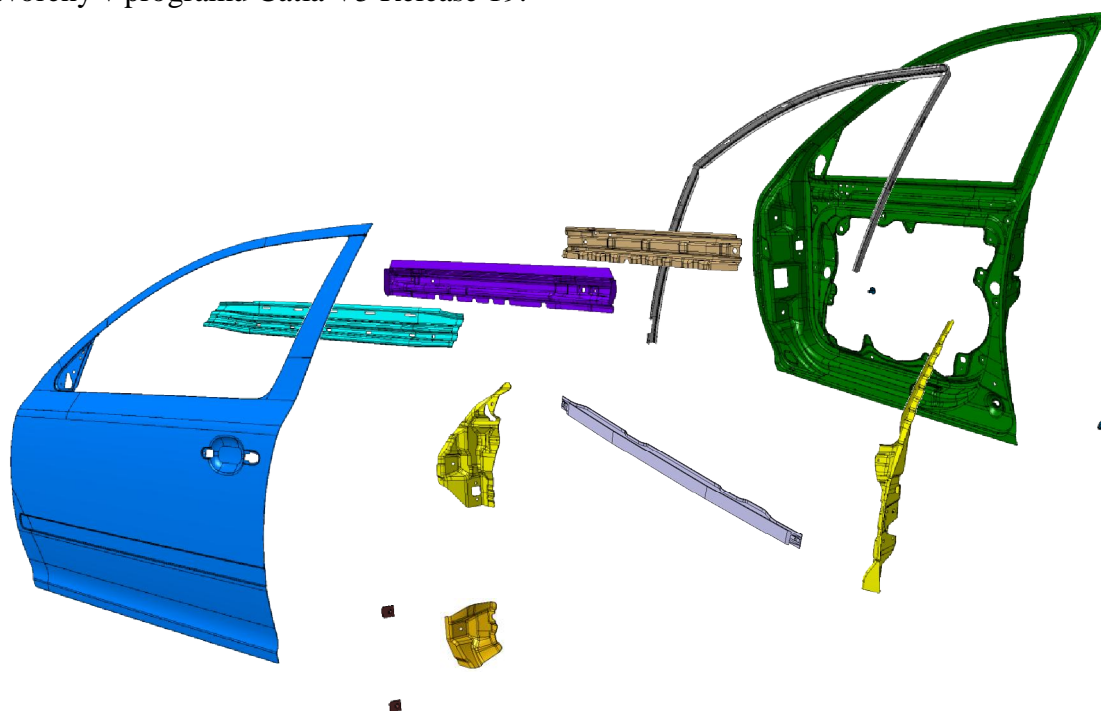
Název FMEA: Boční protinárazová výztuha			Moderátor: Koutný Miroslav				Datum konání FMEA: 10.5.2013			FMEA - Typ: Konstrukční		FMEA Tým: Voják Aleš, Kalužák Ervin, Skála Adolf, Fikkerová Kamila, Voňka Michal					
Předmět FMEA: 1Z0.331.507.A			Zodpovědná oblast: TKO - Okovaná karoserie				FMEA - Stav Průběžná										
Prvek	Možná vada	Možné následky vady	Význam	Kritičnost	Možné příčiny/ mechanismy vady	Výskyt	Stávající způsoby posuzování návrhu	Odhalitelnost	Možné riziko	Navržená opatření	Odpovědnost	Termín	Provedení opatření	Význam	Výskyt	Odhalitelnost	Možné riziko
Ochrana posádky	Kolabs (deformace výztuhy) při bočním nárazu	Zranění posádky	9		Nedostatečně dimenzovaná výztuha	2	Tuhostní výpočet, simulace zkoušky bočního nárazu	9	162	Fyzická bariérová zkouška, zkouška FMVSS 214, případná optimalizace	Oddělení TKB - bezpečnost a zkoušky vozu	16.7.2013					
Montáž	Přesnost dílu	Kroucení dveří	4		Nepřesné dosedací plochy	4	Měření dosedacích ploch vnitřního dílu a výztuhy	5	80	Předpis tolerance ve výkresové dokumentaci	Oddělení TKO - konstrukce okované karoserie	21.6.2013					
Zavírání dveří	Kolize s vnějším dílem dveří	Hluky při zavírání	5		Chybi tlumičí fólie	7	Měření a zkoušky v hlukové zkušebně	3	105	Výztuhu opatřit tlumičím fólií	Oddělení TZ/33 - akustika karoserie	28.6.2013					
Životnost dveří	Uvolnění výztuhy	Poškození dosedacích ploch	5		Koroze dosedacích ploch na vnitřním dílu dveří	4	Kontrola tloušťky KTL	7	140	Předpis tloušťky KTL ve výkresové dokumentaci	Oddělení TKO - konstrukce okované karoserie	21.6.2013					
Montáž	Přesnost dílu	Výztuha nelze namontovat	2		Špatná rozteč montážních otvorů	4	Tolerance polohy připevňovacích otvorů	1	8	Předpis tolerance ve výkresové dokumentaci	Oddělení TKO - konstrukce okované karoserie	21.6.2013					
Spouštění okna	Kolize se spouštěčem	Hluky při spouštění okna	5		Vzdálenost výztuhy od spouštěčů	5	Kontrola tvaru výztuhy	4	100	Upravit prolis ve výztuze	Oddělení TKO - konstrukce okované karoserie	26.7.2013					

Z provedené FMEA analýzy a z vyplněného formuláře plynou následující úkoly k prověření konstrukce: prověření dimenzování výztuhy, kontrola rozměrů výztuhy, prověření kolizí s vnějším dílem a se spouštěčem a kontrola tloušťky KTL vrstvy.



## 7.6 Výsledná sestava bočních dveří

K sestavení celé sestavy dveří se použily CAD data okolních dílů vytvořených ve Škodě Auto a.s. Pro úpravu vnitřního dílu dveří a rámu se také použily CAD data původních dílů vytvořených ve Škodě Auto a.s. CAD data hliníkové protinázrazové výztuhy byly vytvořeny v programu Catia V5 Release 19.



Obr. 44: Rozpad výsledné sestavy bočních dveří

Tab. 11: Hmotnostní srovnání

Název dílu	Série	Inovované řešení	Hmotnostní úspora
	Hmotnost [g]	Hmotnost [g]	[%]
Díl dveří vnější	4 704	4 704	-
Díl dveří vnitřní	4 508	4 500	- 0,2
Protinázrazová výztuha	1 536	1 014	- 34,0
Výztuha šachty vnitřní	1 056	1 056	-
Výztuha šachty vnější	1 028	1 028	-
Výztuha šachty	967	967	-
Výztuha závěsu horní	948	948	-
Výztuha závěsu dolní	545	545	-
Rám	521	514	- 1,3
Výztuha zámku	482	482	-
Závitová deska	2 x 47	2 x 47	-
Šroub M8 x 16	-	2 x 11	200
Hmotnost všech dílů	16 389	15 874	3,1
Těsnění a lepidla	500	480	4
<b>Celková hmotnost dveří</b>	<b>16 889</b>	<b>16 354</b>	<b>3,2</b>

## 8 Závěr

Diplomová práce seznamuje s konstrukcí předních bočních dveří vozu Škoda Octavia II. generace z hlediska bezpečnostních a funkčních požadavků. Srovnává vybrané parametry předních bočních dveří vozu Škoda Octavia, jako jsou rozměry, zajímavé konstrukční řešení a bezpečnost s konkurenčními modely vozů. Na základě podrobného vyhodnocení těchto parametrů stanovuje díl s nejvyšším potenciálem úspory hmotnosti a navrhuje čtyři inovované konstrukční řešení tohoto dílu. Z těchto inovovaných variant pomocí metod DFX vybírá tu nejvíce vyhovující, kterou podrobuje detailní konstrukci.

Cílem diplomové práce bylo navržení inovovaného konstrukčního řešení předních bočních dveří vozu Škoda Octavia II. generace s označením SK 351 z hlediska optimální hmotnosti při splnění stávajících pevnostních, funkčních a montážních požadavků, které jsou na současný sériový stav bočních dveří kladeny. Na základě tohoto cíle byla určena podmínka minimálně 3% úspory hmotnosti sestavy bočních dveří při maximálním počtu 15 dílů sestavy.

Tohoto cíle bylo dosaženo pomocí zvoleného inovovaného řešení protinárazové výztuhy z dutého hliníkového profilu, na kterém se optimalizací konstrukce podařilo uspořit celých 34% hmotnosti. Kvůli nemožnosti montáže se musel rám a vnitřní díl dveří upravit, čímž došlo k hmotnostní úspoře 1,3% u rámu a 0,2% u vnitřního dílu dveří, celkově se tedy hmotnost u těchto dílů snížila o 15g. Naopak se při volbě připevnění výztuhy zjistila nutnost použití dvou připevňovacích šroubů o celkové váze 22g, které zároveň navýšily konečný počet dílů sestavy na 14. Zvolené řešení tedy splňuje s rezervou maximální počet dílů sestavy. Konečná úspora 3,2% hmotnosti celé sestavy pak vyhovuje podmínce minimální úspory 3%.

Důležitým parametrem výztuhy je její požadovaná ohybová tuhost v rozmezí 200 – 400 kN/m. V diplomové práci byla tuhost inovované – tvarově i rozměrově optimalizované protinárazové výztuhy zjištěna simulací ohybu výztuhy uložené na dvou podporách a zatížené silou uprostřed. Výsledná tuhost výztuhy zjištěná simulací dosáhla hodnoty 248,8 kN/m, což je v požadovaném rozmezí. Statické požadavky tuhosti celé sestavy bočních dveří byly ověřeny počítačovými simulacemi. Deformace při simulaci prověšením byla 7,8 mm, přičemž požadavek maximální elastické deformace je 10 mm. Při zatížení okenní šachty vnější byla zjištěna deformace 0,97 mm a u okenní šachty vnitřní 0,85 mm. Požadovaná maximální deformace je u vnější šachty 4 mm a u vnitřní



šachty 2 mm. Simulací zatížením ve středu rámu byla zjištěna hodnota deformace 6,0 mm a v oblasti B-sloupku došlo k deformaci 5,9 mm, přičemž 10 mm je maximální požadavek pro deformaci ve středu rámu a 6 mm je maximální požadavek pro deformaci v oblasti B-sloupku. Ze zjištěných výsledků simulací se potvrdilo, že nově zkonstruovaná a navržená protinárazová výztuha z dutého hliníkového profilu plní požadavky všech potřebných statických zkoušek celé sestavy předních bočních dveří svařených.

Velice důležitým měřítkem, na které je při konstrukci kladen důraz, je jednoduchost a možnost montáže. Samotná montáž inovované protinárazové výztuhy byla umožněna úpravou vnitřního dílu dveří a rámu. Na vnitřním dílu dveří se upravil otvor pro kabelovou instalaci a dosedací plochy pro připevnění protinárazové výztuhy. Rám byl upraven odstraněním části profilu, který bránil montáži protinárazové výztuhy. Podmínkou bezproblémové montáže je zejména dostatek prostoru, kterého se dosáhlo pomocí výše zmíněných úprav. Minimální vzdálenost inovované protinárazové výztuhy od okolních nepohyblivých dílů je 3,9 mm a od pohyblivých 9 mm, čímž byl splněn požadavek bezproblémové montáže okolních dílů.

Návrhem šesti RPS bodů se jednoznačně definovala poloha protinárazové výztuhy z pohledu kontroly rozměru součásti vzhledem k souřadnému systému vozidla.

Závěr diplomové práce byl zaměřen na prověření možného nebezpečí vzniku závad, což je velice důležité pro prevenci rizik. Možné závady a jejich důsledky byly vyhodnoceny pomocí FMEA analýzy prováděné za pomoci odborníků ze Škody Auto a.s. FMEA analýza současně navrhuje kontrolní opatření, která by měla možnost výskytu závad úplně odstranit či ji alespoň co nejvíce eliminovat.

## Seznam použité literatury

- [1] Ševčík L.: *Počítačem podporované konstruování. Část třetí. CAD technologie v inovačním inženýrství*. Technická univerzita v Liberci, 2006.
- [2] Mašín I., Vytlačil M.: *Nové cesty k vyšší produktivitě. Metody průmyslového inženýrství*. Institut průmyslového inženýrství, Liberec, 2006.
- [3] Michna Š., Lukáč I., Očenášek V., Kořený R., Drápala J., Schneider H., Miškuřová A. a kol.: *Encyklopedie hliníku*. Adin s.r.o., Prešov, 2005.
- [4] Machek V., Sodoma J.: *Speciální kovové materiály*. ČVUT Praha, 2008.
- [5] Skrbek B.: *Materiály pro konstrukční aplikace*. Technická univerzita v Liberci, 2009.
- [6] Kovanda J., Šatochin V.: *Pasivní bezpečnost vozidel*. ČVUT Praha, 2000.
- [7] Strnadel B.: *Řešené příklady a technické úlohy z materiálového inženýrství*. Ostrava, 1998.
- [8] Ashby M. F.: *Materials selection in mechanical design*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2011.
- [9] Davies G.: *Materials for automobile bodies*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2012.
- [10] Frank J. H.: *Analýza možných způsobů a důsledků závad (FMEA)*. Česká společnost pro jakost
- [11] Rosenau M.: *Řízení projektů*. Computer Press a.s., Brno, 2007.
- [12] *Dodavatelské materiály firmy Constellium Extrusions Děčín*.
- [13] Lenfeld P. a kol.: *Strojírenská technologie – vybrané prezentace*. Technická univerzita v Liberci, 2008.
- [14] *Technická specifikace TL 4225*
- [15] *Dodavatelské materiály firmy SSAB Swedish Steel spol. s r.o.*
- [16] *Dodavatelské materiály firmy Benteler*.
- [17] *Interní materiály firmy Škoda Auto a.s.*
- [18] Internet:  
[www.mmspektrum.com/clanek/inovativni-technologie-v-automobilovém-průmyslu.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/inovativni-technologie-v-automobilovém-průmyslu.html)
- [19] Tuček J.: *Spartak, Octavia, Felicia*. Grada Publishing a.s., 2010.

## Seznam vzorců:

Vzorec č. 1.	Hmotnost výztuhy 1	str. 34
Vzorec č. 2.	Hmotnost výztuhy 2	str. 37
Vzorec č. 3.	Hmotnost výztuhy 3	str. 39
Vzorec č. 4.	Hmotnost výztuhy 4	str. 42
Vzorec č. 5.	Tuhost výztuhy	str. 49
Vzorec č. 6.	Tuhost optimalizované výztuhy	str. 51
Vzorec č. 7.	Hmotnost upravené výztuhy	str. 56

## Seznam obrázků:

Obr. 1:	Historie Škody Octavia	str. 12
Obr. 2:	Prověšení bočních dveří	str. 13
Obr. 3:	Zatížení okenních šachet	str. 14
Obr. 4:	Zatížení okenních ráků	str. 14
Obr. 5:	Schéma dveří svařených včetně podsestav	str. 16
Obr. 6:	Pohled na dveře SK 351 z vnějšku	str. 19
Obr. 7:	Vnitřní díl dveří Mazda 3	str. 21
Obr. 8:	Pohled na dveře Mazdy 3 z vnějšku	str. 22
Obr. 9:	Vnitřní díl dveří Toyoty Auris	str. 23
Obr. 10:	Svařenec rámu Toyoty Auris	str. 23
Obr. 11:	Protinázorová výztuha Toyoty Auris	str. 24
Obr. 12:	Pohled na dveře Toyoty Auris z vnějšku	str. 24
Obr. 13:	Vnitřní díl dveří BMW 120	str. 25
Obr. 14:	Rám BMW 120	str. 25
Obr. 15:	Připevnění protinázorové výztuhy BMW 120	str. 26
Obr. 16:	Pohled na dveře BMW 120 z vnějšku	str. 26
Obr. 17:	Montážní sestava rámu Peugeot 308	str. 27
Obr. 18:	Profil protinázorové výztuhy Peugeot 308	str. 28
Obr. 19:	Pohled na dveře Peugeot 308 z vnějšku	str. 28
Obr. 20:	Sestava dveří svařených s návrhem 1	str. 33
Obr. 21:	Návrh 1 – rozpad výztuhy	str. 34
Obr. 22:	Sestava dveří svařených s návrhem 2	str. 35
Obr. 23:	Návrh 2 – výztuha	str. 37

Obr. 24: Sestava dveří svařených s návrhem 3	str. 38
Obr. 25: Návrh 3 – rozpad výztuhy	str. 39
Obr. 26: Sestava dveří svařených s návrhem 4	str. 40
Obr. 27: Vlastnosti materiálu BTR 165 při tváření a po tváření	str. 41
Obr. 28: Návrh 4 – rozpad výztuhy	str. 42
Obr. 29: Schematické uspořádání simulace	str. 48
Obr. 30: Výsledky simulace průhybu protinárazové výztuhy	str. 48
Obr. 31: Sestava a řez sestavou protinárazové výztuhy	str. 49
Obr. 32: Postupné optimalizace tvaru protinárazové výztuhy	str. 50
Obr. 33: Řez sestavou dveří s optimalizovanou protinárazovou výztuhou	str. 50
Obr. 34: Výsledky simulace průhybu optimalizované protinárazové výztuhy	str. 51
Obr. 35: Navrhované polohy protinárazové výztuhy	str. 53
Obr. 36: Nově navržená poloha protinárazové výztuhy	str. 54
Obr. 37: Zásuvné spojení	str. 55
Obr. 38: Vytvoření žebra pro závitové otvory	str. 56
Obr. 39: Úprava dosedacích ploch	str. 57
Obr. 40: Vytvoření montážního otvoru	str. 57
Obr. 41: Úprava rámu	str. 58
Obr. 42: Montáž protinárazové výztuhy	str. 58
Obr. 43: Rozmístění RPS bodů	str. 59
Obr. 44: Rozpad výsledné sestavy bočních dveří	str. 61

## Seznam tabulek:

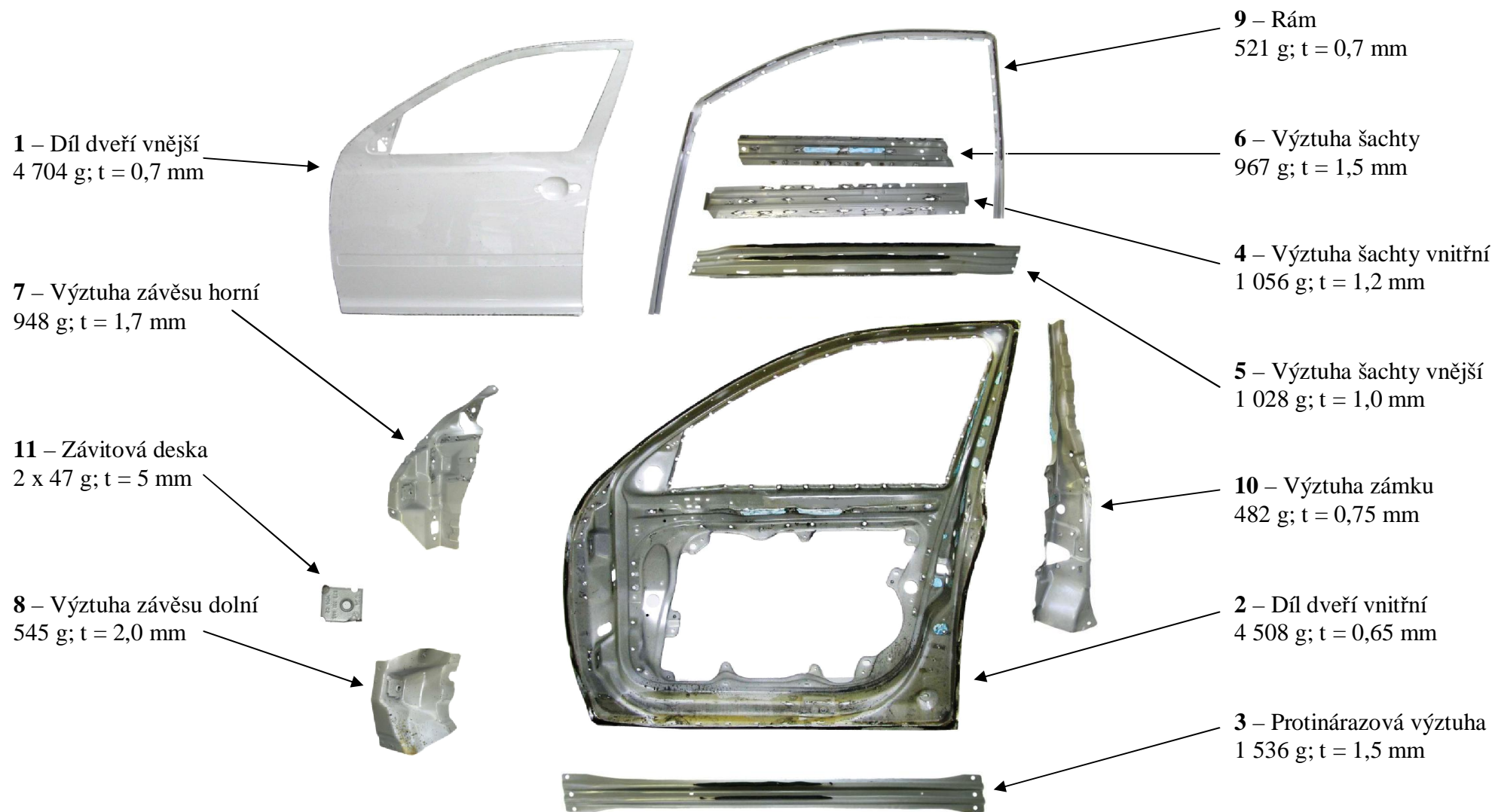
Tabulka 1: Přehled vybraných konkurentů pro analýzu	str. 20
Tabulka 2: Přehled zjištěných informací	str. 29
Tabulka 3: Přehled vybraných materiálů používaných v automobilovém průmyslu	str. 32
Tabulka 4: Standardní slitiny hliníku	str. 36
Tabulka 5: Celkové shrnutí návrhů	str. 42
Tabulka 6: Posouzení návrhů z hlediska montáže - DFA	str. 44
Tabulka 7: Posouzení návrhů z hlediska přidané hodnoty pro zákazníka	str. 46
Tabulka 8: Tabulka výběru optimálního řešení	str. 47
Tabulka 9: Tabulka rozmístění RPS bodů	str. 59

Tabulka 10: Formulář FMEA	str. 60
Tabulka 11: Hmotnostní srovnání	str. 61

## Seznam příloh:

Příloha č. 1: Rozpad předních dveří Škoda Octavia II	str. 68
Příloha č. 2: Hmotnosti a rozměry dílů předních dveří vozu Škoda Octavia II	str. 69
Příloha č. 3: Rozpad předních dveří Mazda 3	str. 70
Příloha č. 4: Hmotnosti a rozměry dílů předních dveří vozu Mazda 3	str. 71
Příloha č. 5: Rozpad předních dveří Toyota Auris	str. 72
Příloha č. 6: Hmotnosti a rozměry dílů předních dveří vozu Toyota Auris	str. 73
Příloha č. 7: Rozpad předních dveří BMW 120	str. 74
Příloha č. 8: Hmotnosti a rozměry dílů předních dveří vozu BMW 120	str. 75
Příloha č. 9: Rozpad předních dveří Peugeot 308	str. 76
Příloha č. 10: Rozpad předních dveří Peugeot 308	str. 77
Příloha č. 11: Závislosti deformací na zatěžující síle u hliníkových pěn	str. 78
Příloha č. 12: Prověšení dveří – rozložení napětí [MPa]	str. 78
Příloha č. 13: Zatížení okenní šachty vnější – rozložení napětí [MPa]	str. 79
Příloha č. 14: Zatížení okenní šachty vnitřní – rozložení napětí [MPa]	str. 79
Příloha č. 15: Zatížení okenního rámu ve středu – rozložení napětí [MPa]	str. 80
Příloha č. 16: Zatížení okenního rámu v oblasti B-sloupku – rozložení napětí [MPa]	str. 80
Příloha č. 17: Prověšení předních dveří – deformace [mm]	str. 81
Příloha č. 18: Zatížení šachty vnější – deformace [mm]	str. 81
Příloha č. 19: Zatížení šachty vnitřní – deformace [mm]	str. 82
Příloha č. 20: Zatížení okenního rámu ve středu – deformace [mm]	str. 82
Příloha č. 21: Zatížení okenního rámu v oblasti B-sloupku – deformace [mm]	str. 83

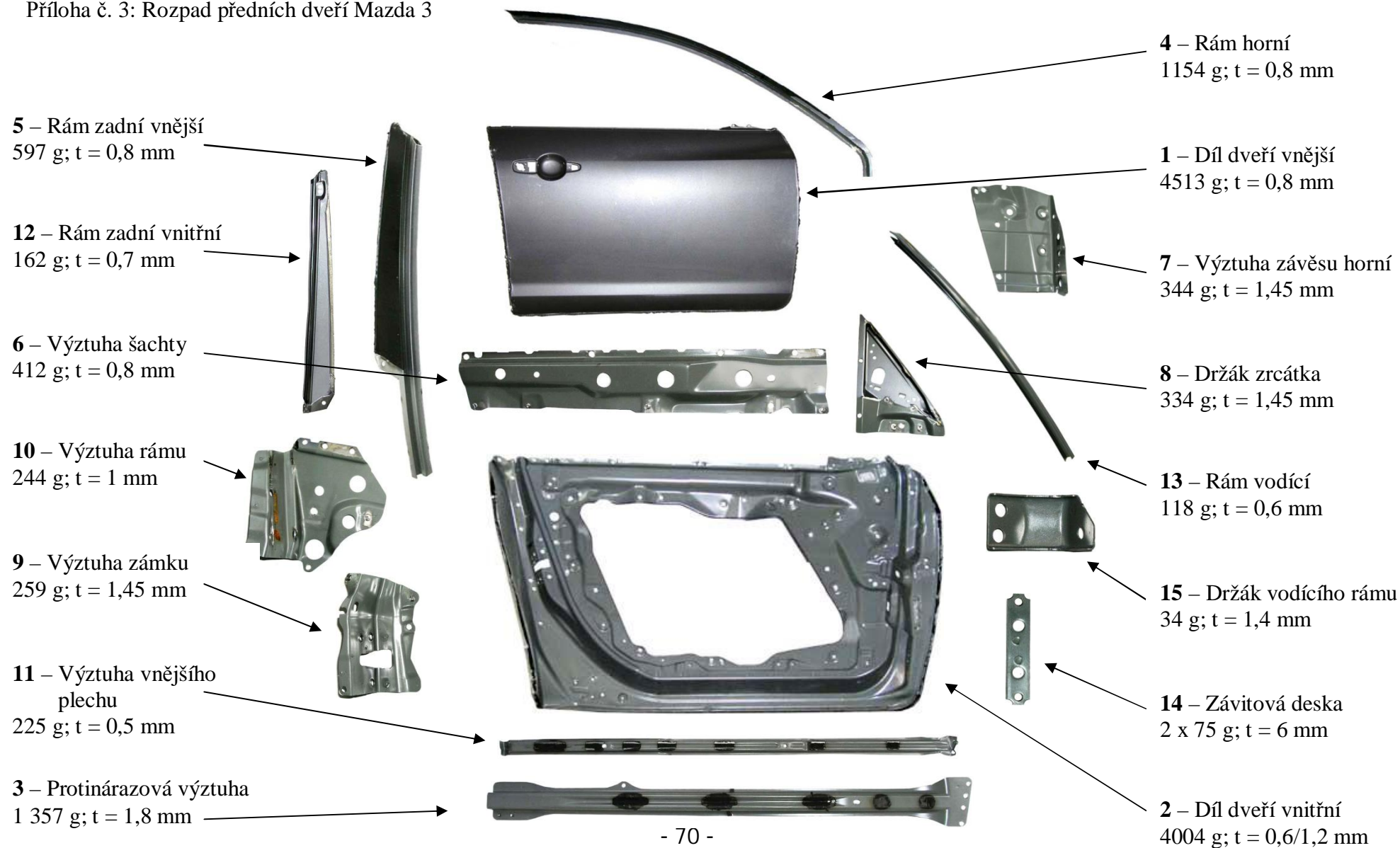
Příloha č. 1: Rozpad předních dveří Škoda Octavia II



Příloha č. 2: Hmotnosti a rozměry dílů předních dveří vozu Škoda Octavia II

Číslo dílu	Název dílu	Hmotnost [g]	Tloušťka plechu [mm]	Rozměry [mm]	Materiál
1	Díl dveří vnější	4 704	0,7	1 100 x 1190	ocel
2	Díl dveří vnitřní	4 508	0,65	1 100 x 1190	ocel
3	Protinárazová výztuha	1 536	1,5	990 x 165	ocel
4	Výztuha šachty vnitřní	1 056	1,2	980 x 130	ocel
5	Výztuha šachty vnější	1 028	1,0	1 010 x 145	ocel
6	Výztuha šachty	967	1,5	720 x 125	ocel
7	Výztuha závěsu horní	948	1,7	455 x 240	ocel
8	Výztuha závěsu dolní	545	2,0	240 x 185	ocel
9	Rám	521	0,7	2060 x 55	ocel
10	Výztuha zámku	482	0,75	720 x 180	ocel
11	Závitová deska	2 x 47	5	40 x 35	ocel
	Hmotnost dílů	16 389			
	Těsnění a lepidla	500			
	<b>Celková hmotnost dveří</b>	<b>16 889</b>			

Příloha č. 3: Rozpad předních dveří Mazda 3

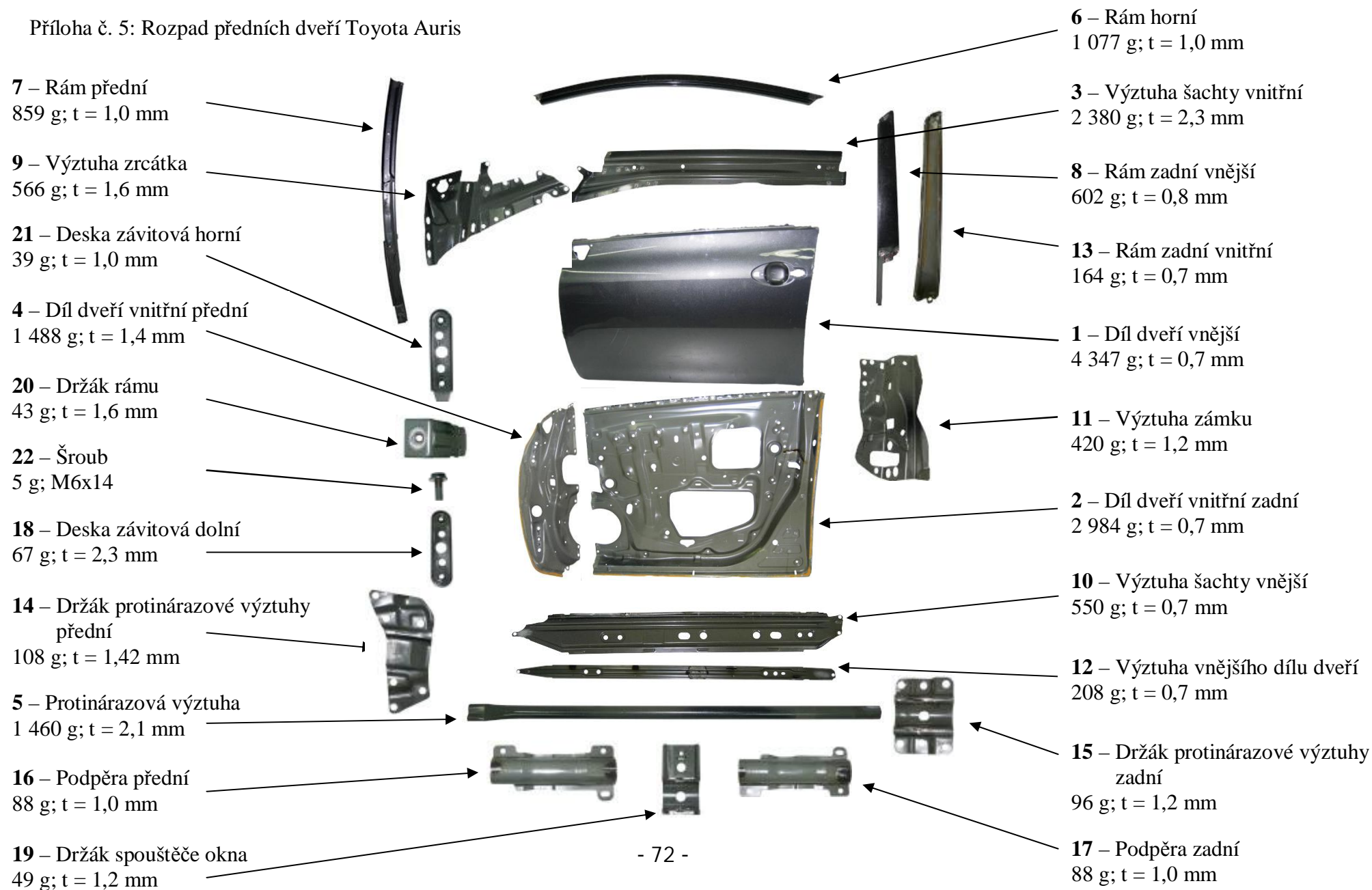




Příloha č. 4: Hmotnosti a rozměry dílů předních dveří vozu Mazda 3

Číslo dílu	Název dílu	Hmotnost [g]	Tloušťka plechu [mm]	Rozměry [mm]	Materiál
1	Díl dveří vnější	4 513	0,8	1 110 x 780	ocel
2	Díl dveří vnitřní	4 004	0,6 / 1,2	1 300 x 750	ocel
3	Protinárazová výztuha	1 357	1,8	960 x 120	ocel
4	Rám horní	1 154	0,8	1 350 x 120	ocel
5	Rám zadní vnější	597	0,8	660 x 180	ocel
6	Výztuha šachty	412	0,8	650 x 110	ocel
7	Výztuha závěsu horní	344	1,45	195 x 170	ocel
8	Držák zrcátka	334	1,45	260 x 185	ocel
9	Výztuha zámku	259	1,45	180 x 155	ocel
10	Výztuha rámu	244	1	220 x 200	ocel
11	Výztuha vnějšího plechu	225	0,5	1 060 x 60	ocel
12	Rám zadní vnitřní	162	0,7	460 x 80	ocel
13	Rám vodící	118	0,6	560 x 50	ocel
14	2x Závitová deska	2 x 75	6	100 x 20	ocel
15	Držák vodícího rámu	34	1,4	90 x 45	ocel
Hmotnost dílů		13 907			
Těsnění a lepidla		126			
Celková hmotnost dveří		<b>14 033</b>			

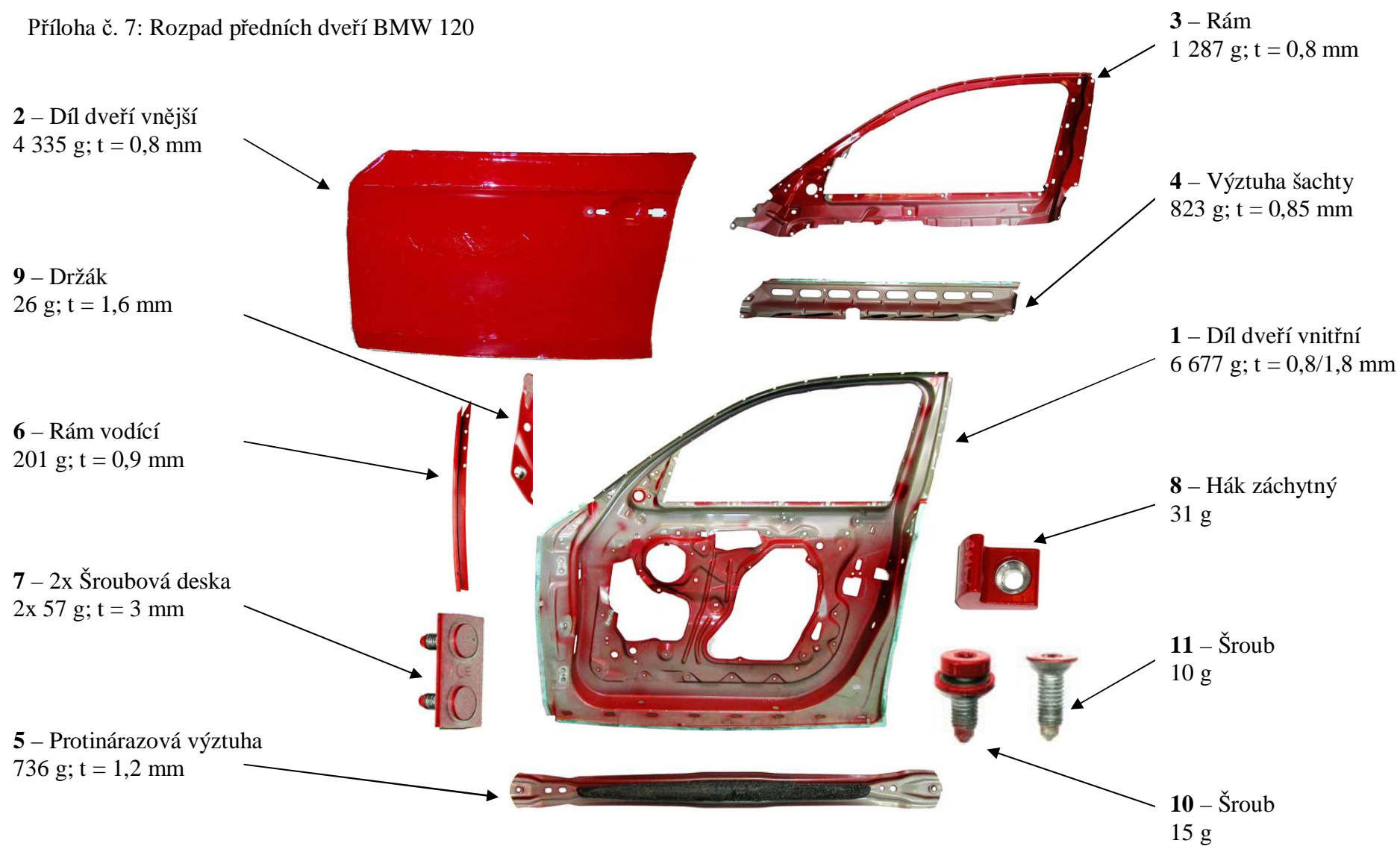
Příloha č. 5: Rozpad předních dveří Toyota Auris



Příloha č. 6: Hmotnosti a rozměry dílů předních dveří vozu Toyota Auris

Číslo dílu	Název dílu	Hmotnost [g]	Tloušťka plechu [mm]	Rozměry [mm]	Materiál
1	Díl dveří vnější	4 347	0,7	1 099 x 743	ocel
2	Díl dveří vnitřní zadní	2 984	0,7	742 x 892	ocel
3	Výztuha šachty vnitřní	2 380	2,3	970 x 175	ocel
4	Díl dveří vnitřní přední	1 488	1,4	230 x 664	ocel
5	Protinárazová výztuha	1460	2,1	990 x ø32	ocel
6	Rám horní	1077	1,0	975 x 156	ocel
7	Rám přední	859	1,0	683 x 120	ocel
8	Rám zadní vnější	602	0,8	605 x 175	ocel
9	Výztuha zrcátka	566	1,6	415 x 245	ocel
10	Výztuha šachty vnější	550	0,7	994 x 120	ocel
11	Výztuha zámku	420	1,2	215 x 286	ocel
12	Výztuha vnějšího dílu dveří	208	0,7	1013 x 42	ocel
13	Rám zadní vnitřní	164	0,7	475 x 75	ocel
14	Držák protinárazové výztuhy přední	108	1,2	94 x 173	ocel
15	Držák protinárazové výztuhy zadní	96	1,2	78 x 105	ocel
16	Podpěra přední	88	1,0	158 x 74	ocel
17	Podpěra zadní	88	1,0	158 x 74	ocel
18	Deska závitová dolní	67	2,3	28 x 112	ocel
19	Držák spouštěče okna	49	1,2	45 x 86	ocel
20	Držák rámu	43	1,6	115 x 32	ocel
21	Deska závitová horní	39	1,0	28 x 119	ocel
22	Šroub	5		M6 x 14	ocel
	Hmotnost dílů	17 688			
	Těsnění a lepidla	144			
	<b>Celková hmotnost dveří</b>	<b>17 832</b>			

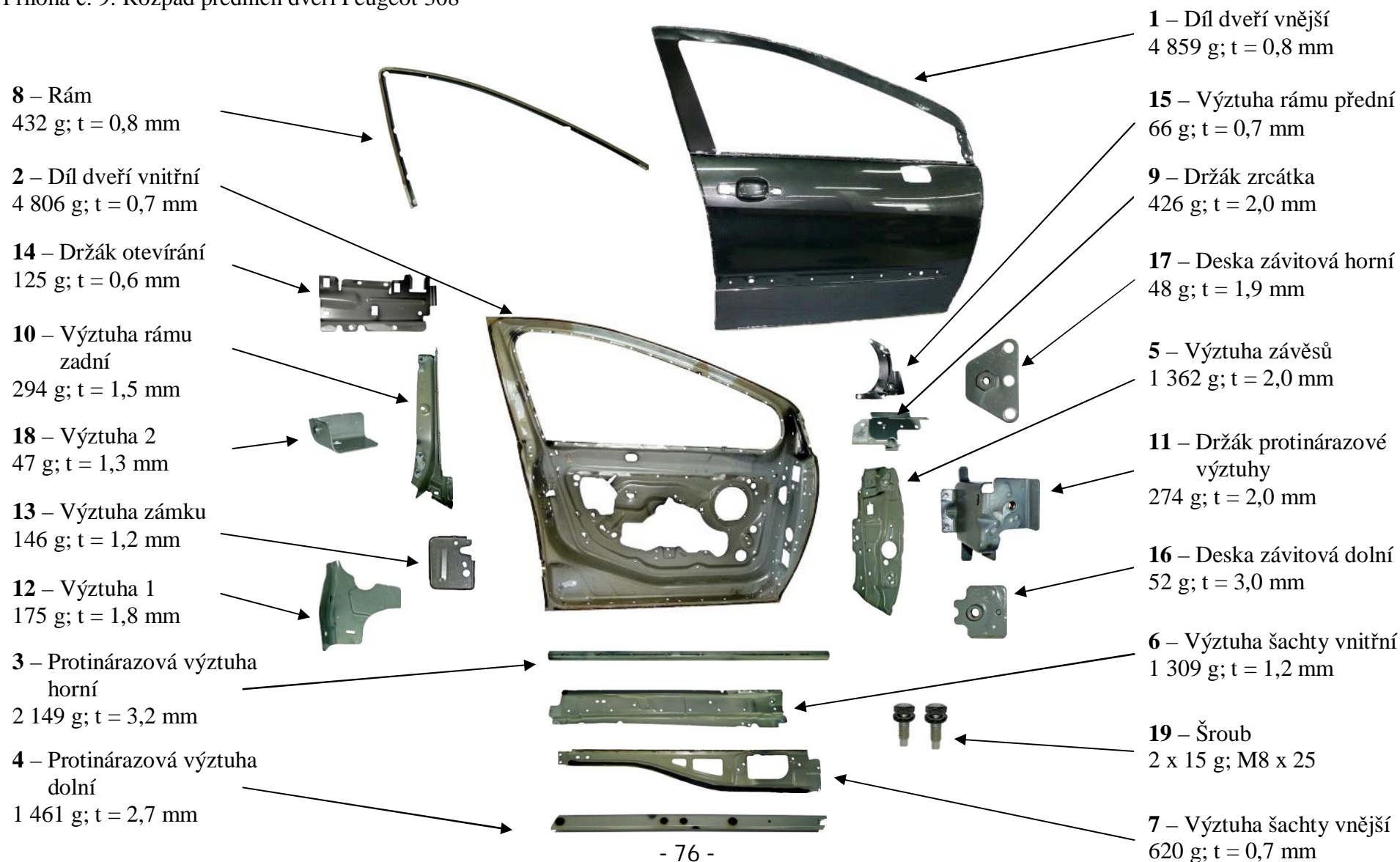
Příloha č. 7: Rozpad předních dveří BMW 120



Příloha č. 8: Hmotnosti a rozměry dílů předních dveří vozu BMW 120

Číslo dílu	Název dílu	Hmotnost [g]	Tloušťka plechu [mm]	Rozměry [mm]	Materiál
1	Díl dveří vnitřní	6 677	0,8 / 1,8	1 210 x 1 120	ocel
2	Díl dveří vnější	4 335	0,8	1 070 x 8700	ocel
3	Rám	1 287	0,8	1 030 x 1520	ocel
4	Výztuha šachty	823	0,85	960 x 160	ocel
5	Protinázorová výztuha	763	1,2	880 x 100	ocel
6	Rám vodící	201	0,9	515 x 70	ocel
7	2x Šroubová deska	2 x 57	3	120 x 35	ocel
8	Hák záchytný	31		65 x 25	hliník
9	Držák	26	1,6	75 x 50	ocel
10	Šroub	15		M8 x 19	ocel
11	Šroub	10		M8 x 19	ocel
	Hmotnost dílů	14 282			
	Těsnění a lepidla	35			
	<b>Celková hmotnost dveří</b>	<b>14 317</b>			

Příloha č. 9: Rozpad předních dveří Peugeot 308

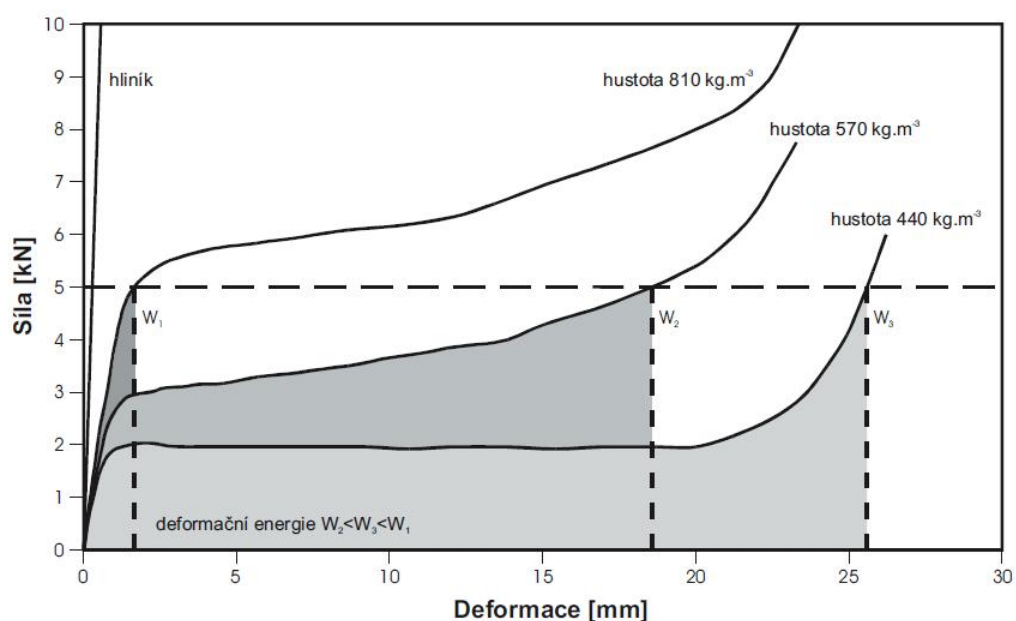


Příloha č. 10: Rozpad předních dveří Peugeot 308

Číslo dílu	Název dílu	Hmotnost [g]	Tloušťka plechu [mm]	Rozměry [mm]	Materiál
1	Díl dveří vnější	4 859	0,8	1 270 x 1 180	ocel
2	Díl dveří vnitřní	4 806	0,7	1 256 x 1 171	ocel
3	Protinárazová výztuha horní	2 149	3,2	957 x ø32,0	ocel
4	Protinárazová výztuha dolní	1 461	2,7	984 x 55,2	hliník
5	Výztuha závěsů	1 362	2,0	228 x 529	ocel
6	Výztuha šachty vnitřní	1 309	1,2	943 x 175	ocel
7	Výztuha šachty vnější	620	0,7	1 047 x 171	ocel
8	Rám	432	0,8	1 700 x 52	ocel
9	Držák zrcátka	426	2,0	225 x 265	ocel
10	Výztuha rámu zadní	294	1,5	62 x 365	ocel
11	Držák protinárazové výztuhy	274	2,0	121 x 118	ocel
12	Výztuha 1	175	1,8	144 x 135	ocel
13	Výztuha zámku	146	1,2	161 x 138	ocel
14	Držák otevírání	125	0,6	232 x 124	ocel
15	Výztuha rámu přední	66	0,7	155 x 190	ocel
16	Deska závitová dolní	52	3,0	44 x 44	ocel
17	Deska závitová horní	48	1,9	47 x 75	ocel
18	Výztuha 2	47	1,3	59 x 54	ocel
19	2 x Šroub	2 x 15		M8 x 25	ocel
Hmotnost dílů		18 681			
Těsnění a lepidla		86			
Celková hmotnost dveří		<b>18 767</b>			

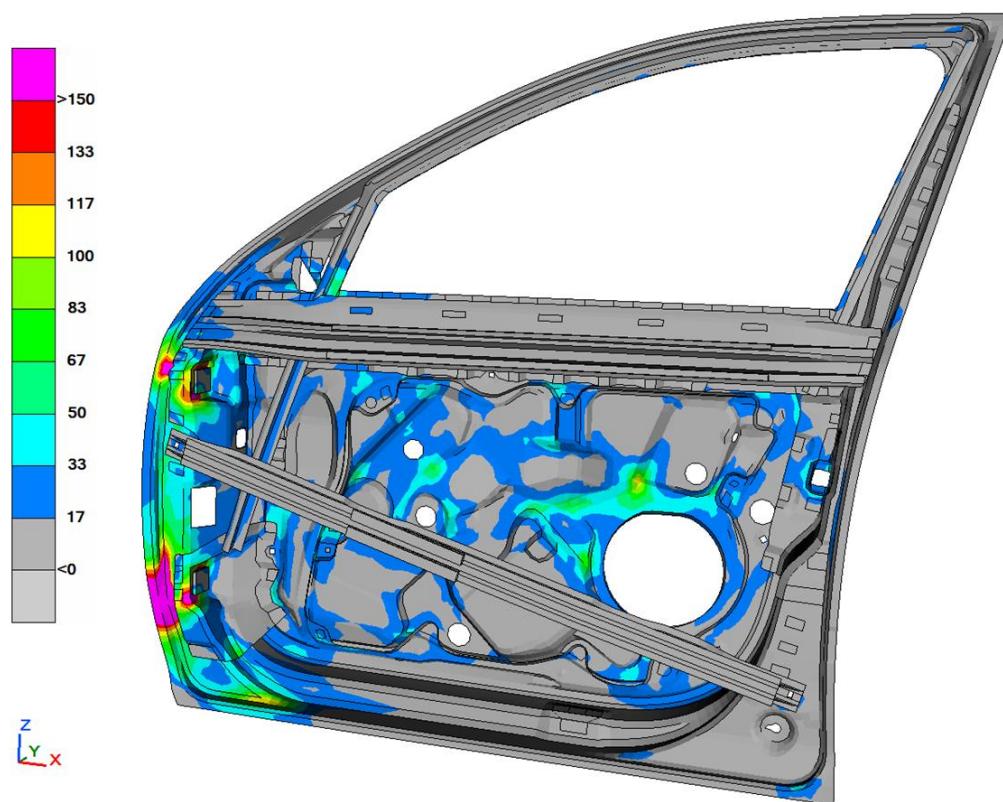


Příloha č. 11: Závislosti deformací na zatěžující síle u hliníkových pěn [3]



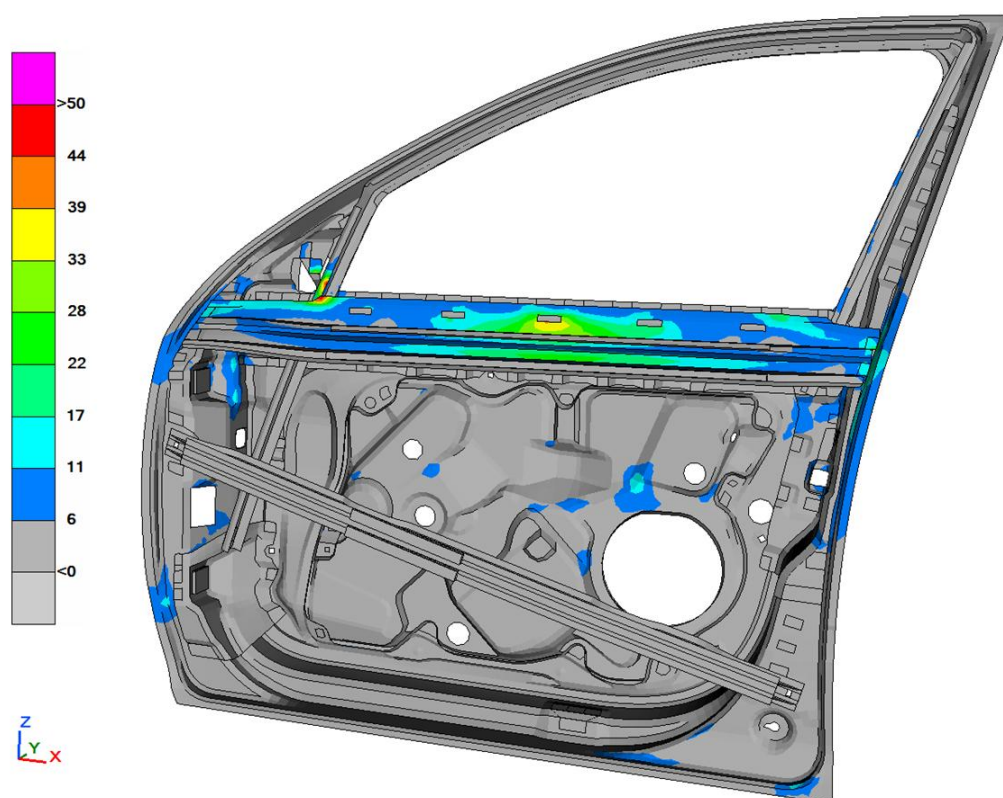
Obr. 10.8.17. Příklady křivek zatěžovací síla - deformace získaných z tlakových zkoušek vzorků z pěnového hliníku různé hustoty. Vyznačené oblasti představují energii potřebnou k plasticke deformaci ( $W_2 > W_3 > W_1$ ).

Příloha č. 12: Prověšení dveří – rozložení napětí [MPa]

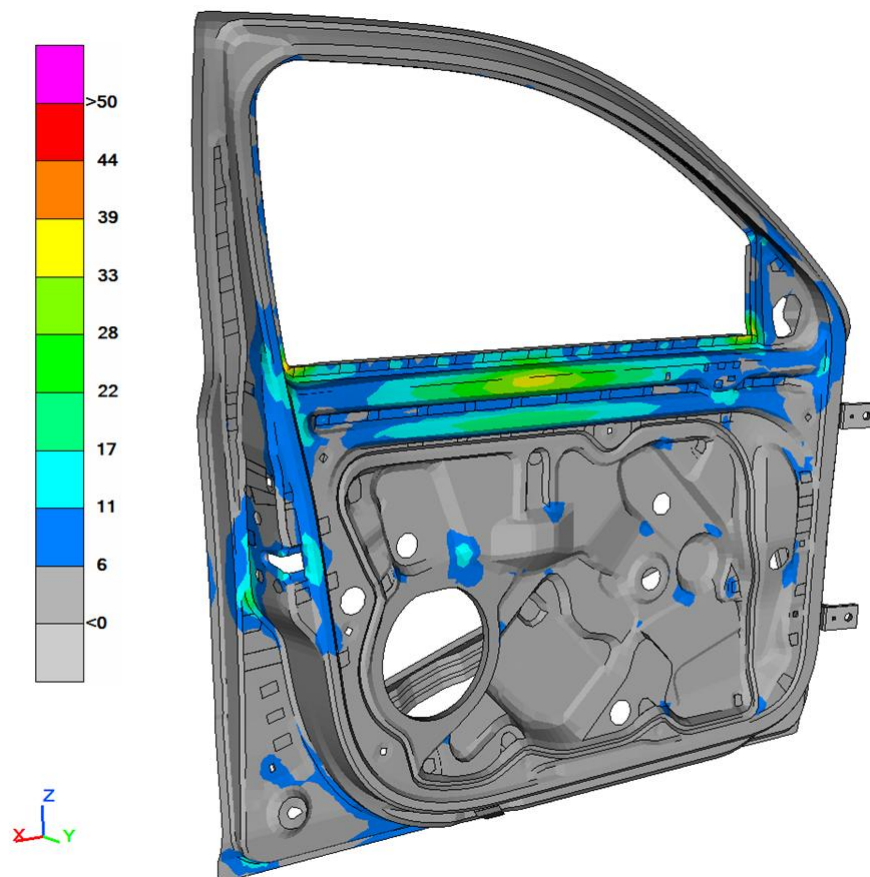




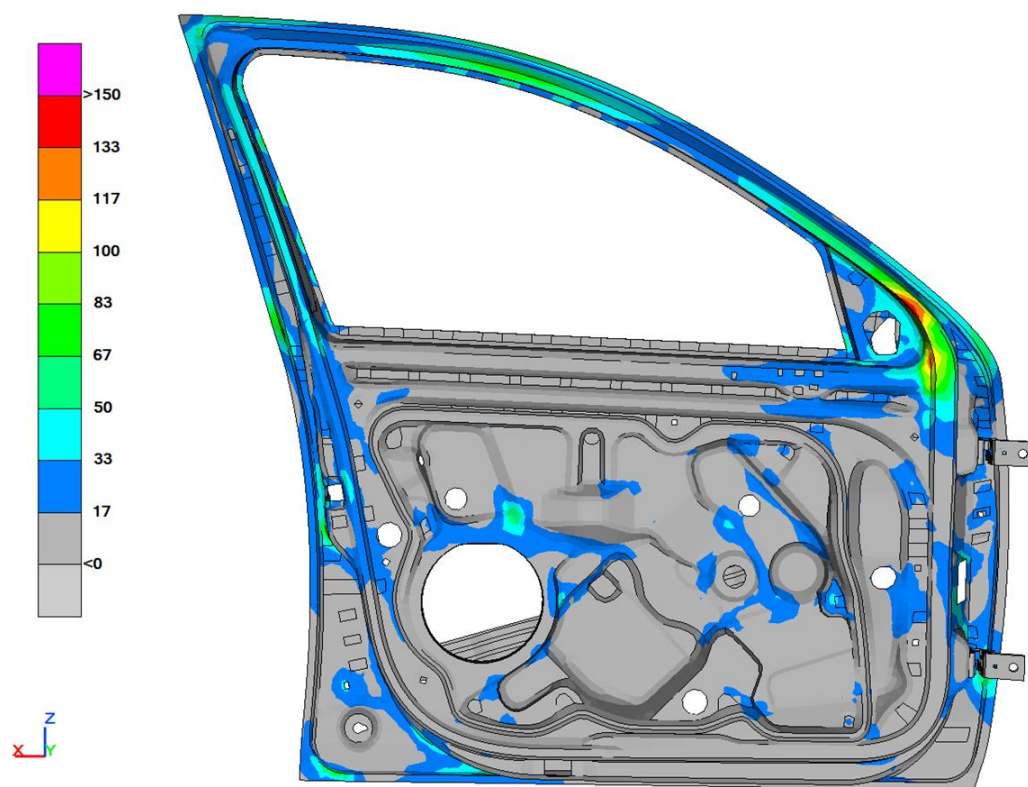
Příloha č. 13: Zatížení okenní šachty vnější – rozložení napětí [MPa]



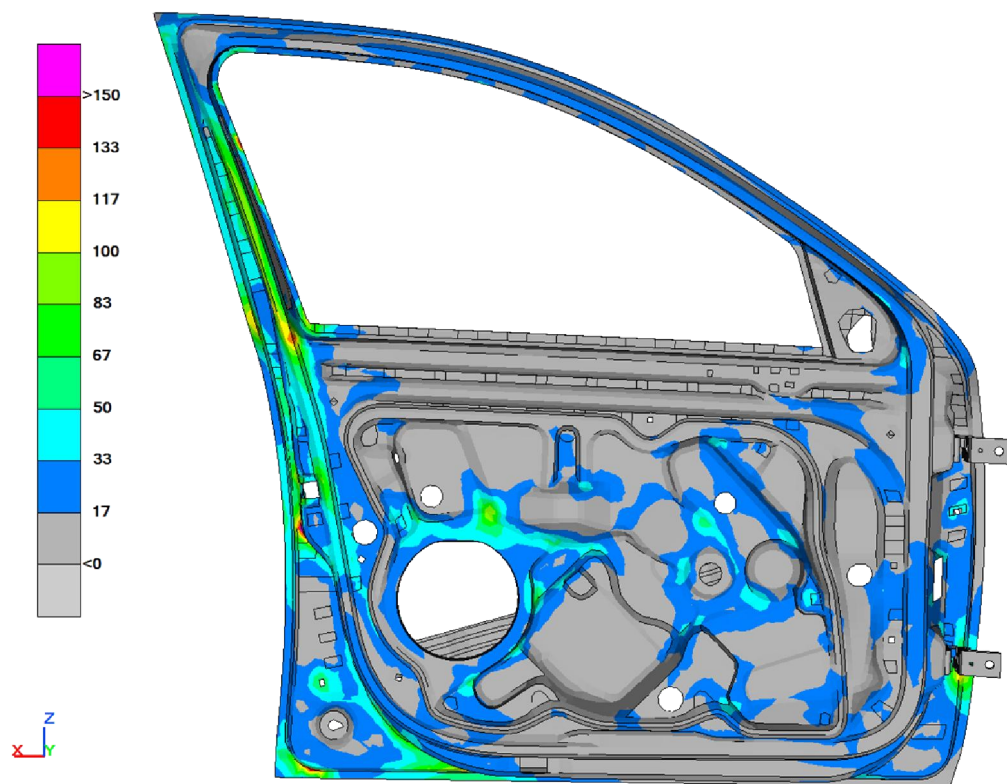
Příloha č. 14: Zatížení okenní šachty vnitřní – rozložení napětí [MPa]



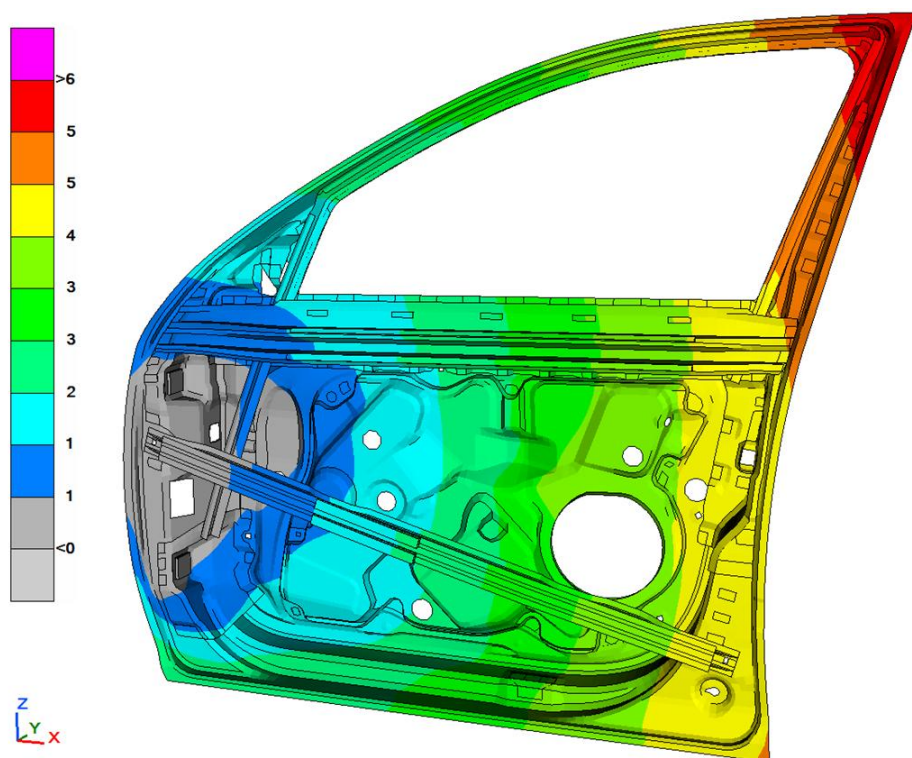
Příloha č. 15: Zatížení okenního rámu ve středu – rozložení napětí [MPa]



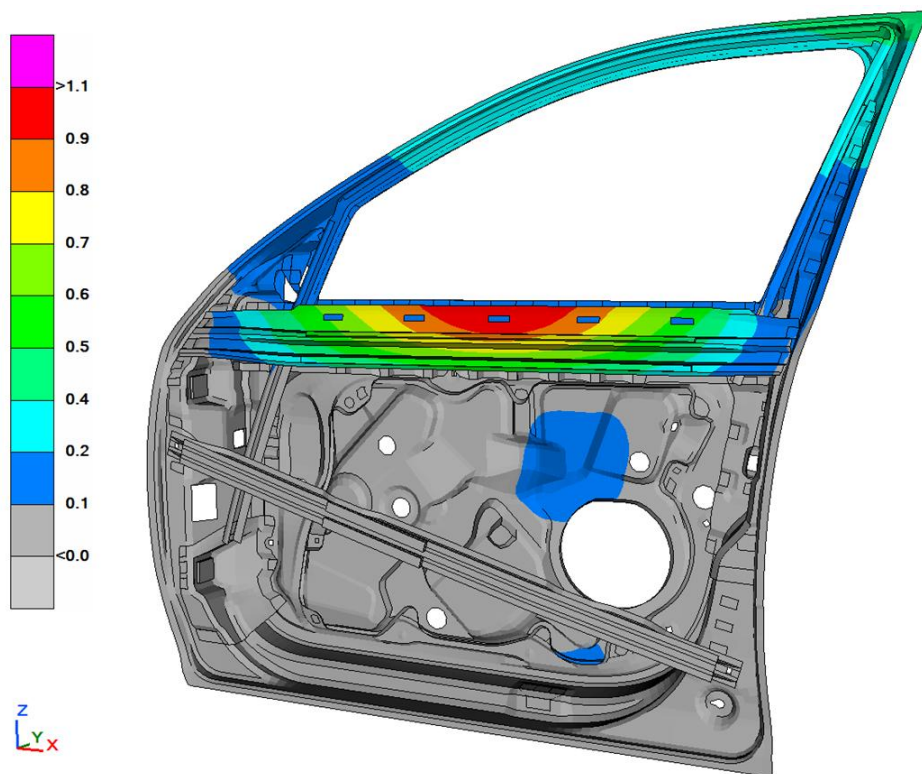
Příloha č. 16: Zatížení okenního rámu v oblasti B-sloupku – rozložení napětí [MPa]



Příloha č. 17: Provedení předních dveří – deformace [mm]

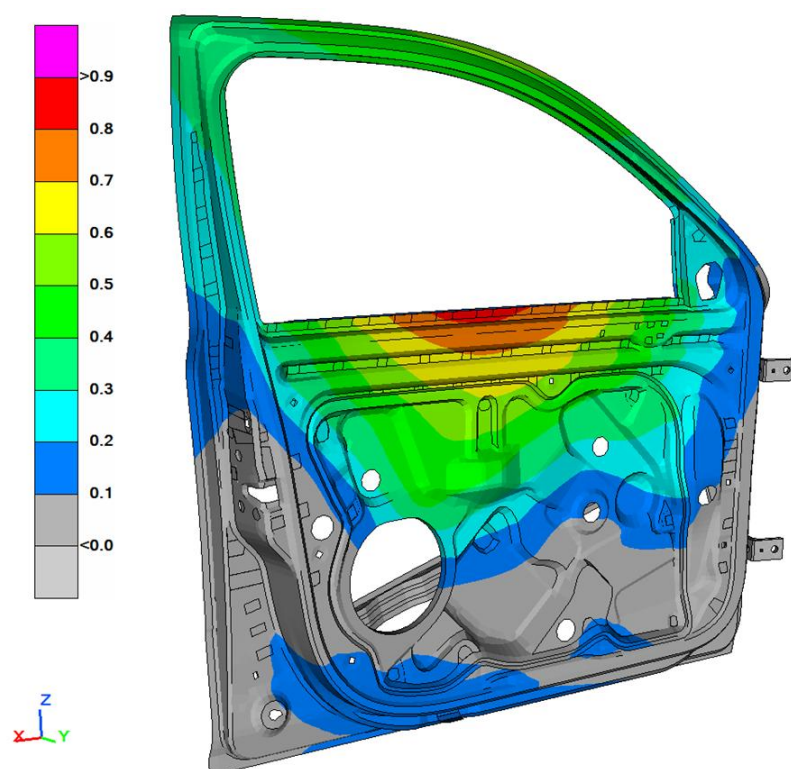


Příloha č. 18: Zatížení šachty vnější – deformace [mm]

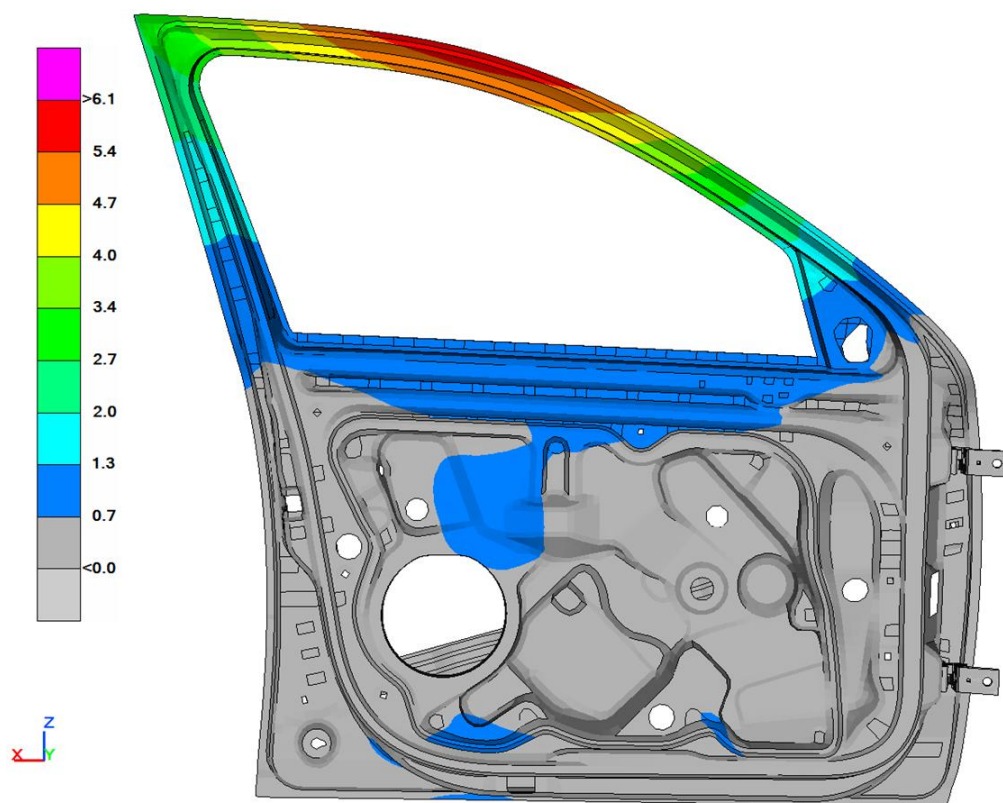




Příloha č. 19: Zatížení šachty vnitřní – deformace [mm]



Příloha č. 20: Zatížení okenního rámu ve středu – deformace [mm]



Příloha č. 21: Zatížení okenního rámu v oblasti B-sloupku – deformace [mm]

